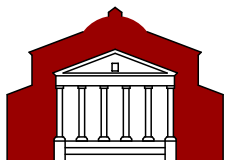


ELABORATI GRAFICI:

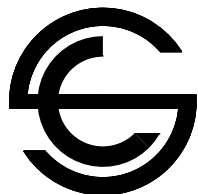


# PALLADIUM s.r.l.

**SEDE:**  
Via Arno n.38  
41019 SOLIERA (MO)

TEL. 059-565828  
FAX 059-565828  
PEC palladiumsrl@arubapec.it

PROGETTO URBANISTICO:



ARCHITECTURE & DESIGN  
ARCH. SARA COLUCCIello

PROGETTO:

VARIANTE A PUA "ANTICHE QUERCE" E  
SISTEMAZIONE DEL PARCO

IL COMMITTENTE:

VECA s.r.l.

ELABORATO:

RELAZIONE GEOLOGICA

TAVOLA:

F

DATA:

APRILE 2021

SCALA:

AGGIORNAMENTO:

IL COMMITTENTE

=====

IL PROGETTISTA

=====

# COMUNE DI SOLIERA

## PROVINCIA DI MODENA

### RELAZIONE GEOLOGICA

inerente alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito (6.2.1 NTC 2018);

### RELAZIONE GEOTECNICA

Relativa alle indagini, alla caratterizzazione e alla modellazione geotecnica a supporto della progettazione strutturale (6.2.2. NTC 2018) nonché relativa alla verifica delle opere di fondazione (6.4.NTC 2018);

### RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA

Relativa alla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione (NTC 2018, DGR RER 1373/2011).



### OGGETTO

Caratterizzazione geologica geotecnica e sismica a supporto del Piano Particolareggiato di iniziativa Privata – Comparto Residenziale “AR2.1 -Ex magazzino comunale”

Via Loschi

Comune di Soliera (MO)

Giugno 2021

**Rif. 473/2021**



**Dott. Geol. Pier Luigi Dallari**



**GEO GROUP s.r.l.**  
UFFICI: via Per Modena, 12 – 41051 Castelnuevo R. (MO)  
SEDE LEGALE: via C. Costa, 182 – 41123 Modena (MO)  
tel. 059/3967169; 059/828367 - p. Iva e C.F.02981500362  
Email: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it) Pec: [geo.group@winpec.it](mailto:geo.group@winpec.it) Sito:  
[www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it)



# RELAZIONE TECNICA

## **RELAZIONE GEOLOGICA**

inerente alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito (6.2.1 NTC 2018)

## **RELAZIONE GEOTECNICA**

Relativa alle indagini, alla caratterizzazione e alla modellazione geotecnica a supporto della progettazione strutturale (6.2.2. NTC 2018) nonché relativa alla verifica delle opere di fondazione (6.4.NTC 2018)

## **ANALISI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE**

Relativa alla caratterizzazione geofisica del volume significativo di terreno (3.2.2 NTC 2018), valutazione dell'azione sismica di riferimento (3.2.3. NTC 2018), Risposta sismica locale e verifica della stabilità nei confronti della liquefazione (DGR 476/2021)

## **OGGETTO**

**Caratterizzazione geologica geotecnica e sismica a supporto del Piano Particolareggiato di iniziativa Privata – Comparto Residenziale “AR2.1 -Ex magazzino comunale”**

---

Via Loschi

Comune di Soliera (MO)

**Rif. n. 473/2021**



UFFICI: via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO)

SEDE LEGALE: via C.Costa,182 - 41123 Modena (MO)

tel. 059/3967169; 059/828367 - p. Iva e C.F.02981500362

Email: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it) Pec: [geo.group@winpec.it](mailto:geo.group@winpec.it) Sito: [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it)



## INDICE DEL CONTENUTO

1	PREMESSE.....	3
2	INQUADRAMENTO GENERALE.....	4
2.1	Inquadramento geografico.....	4
2.2	Elementi geologici e geomorfologici .....	5
2.3	Inquadramento sismico .....	5
3	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	7
3.1	Indagini Geotecniche .....	7
3.1.1	Prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTE/U.....	7
3.2	Indagini Geofisiche .....	11
3.2.1	Indagine sismica passiva a stazione singola (analisi HVSR) .....	11
3.2.2	Indagine sismica attiva con metodo MASW .....	11
4	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO .....	13
4.1	Pericolosità sismica di base.....	13
4.2	Categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC2018) .....	15
4.3	Azione sismica e risposta sismica del sito – Secondo livello di approfondimento (DGR 476/2021) .....	16
4.4	Stabilità nei confronti della liquefazione (§ A2.2. DGR 476/2021) considerando il valore di PGA ottenuto dallo studio di secondo livello .....	18
4.5	Azione sismica e risposta sismica del sito – Terzo livello di approfondimento (DGR 476/2021) .....	21
4.6	Cedimenti post sismici – Terzo livello di approfondimento (DGR 476/2021) .....	28
5	MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO.....	31
5.1	Modello geotecnico del sottosuolo.....	31
6	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....	32

## TAVOLE

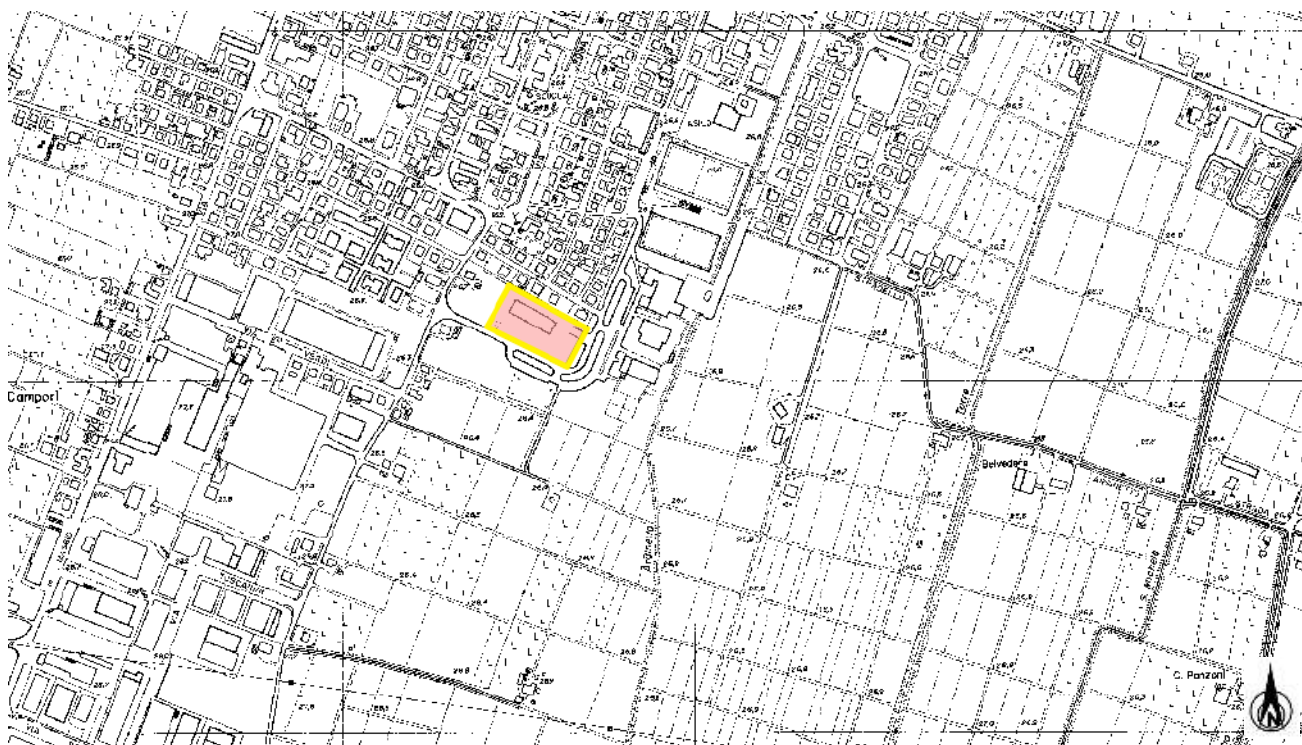
<b>Tav. n. 1:</b>	“Carta Topografica”	scala 1: 5.000;
<b>Tav. n. 2:</b>	“Ripresa Satellitare”	scala 1: 5.000;
<b>Tav. n. 3:</b>	“Ubicazione indagini”	scala 1: 700.

## ALLEGATI

- ALL. n. 1** Prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTE/U;  
**ALL. n. 2** Indagini sismiche;  
**ALL. n. 3** Verifica alla liquefazione.

# 1 PREMESSE

Nel mese di giugno 2021 è stato eseguito il presente studio geologico, geotecnico e sismico inerente alla caratterizzazione geologica geotecnica e sismica a supporto del Piano Particolareggiato di iniziativa Privata – Comparto Residenziale “AR2.1 -Ex magazzino comunale”, sito in via Loschi – Comune di Soliera (MO) (Fig.1.1).



**Fig.1.1 - Ubicazione del sito in studio.**

La presente relazione fa riferimento alle disposizioni normative contenute in:

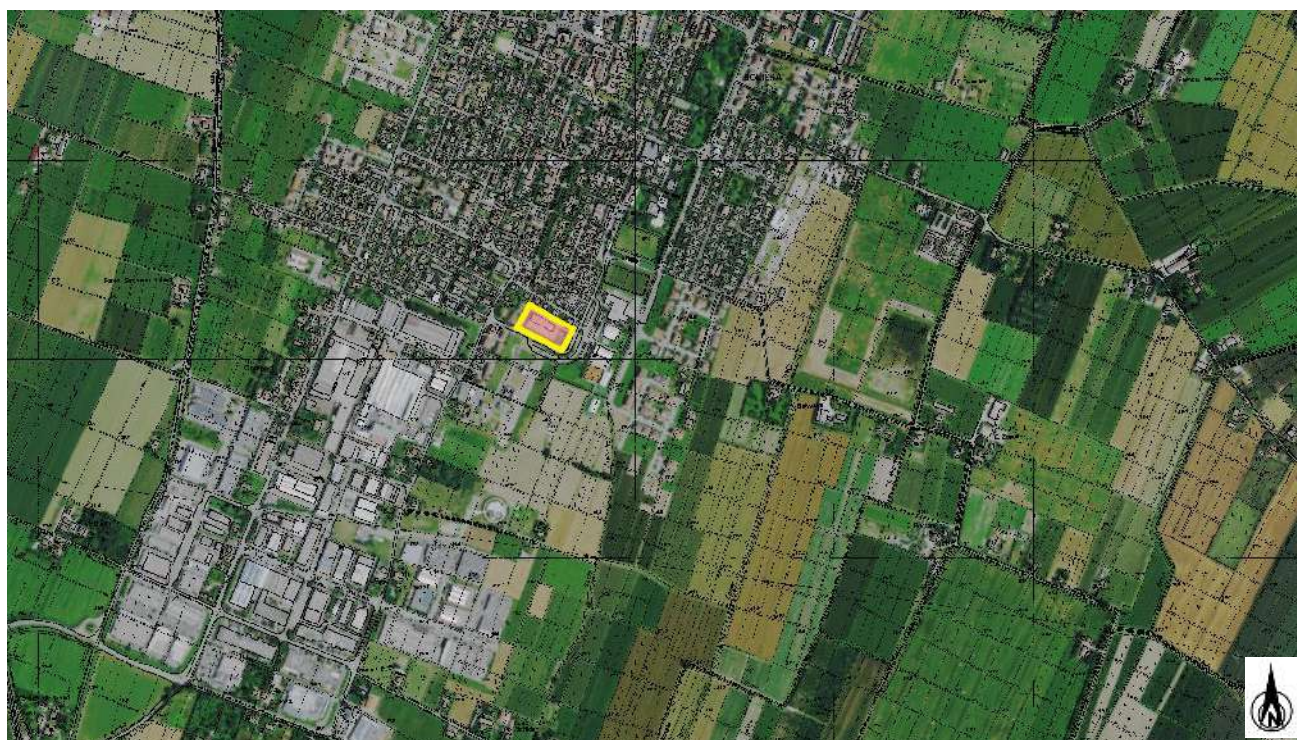
- Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 – D.M. 17/01/2018;
- DGR 476/2021;
- PSC del Comune di Soliera (MO).

## 2 INQUADRAMENTO GENERALE

### 2.1 Inquadramento geografico

L'area in esame è collocata in ambiente di pianura, a sud del centro del territorio comunale di Soliera (Fig.2.1). Le coordinate specifiche dell'area sono le seguenti:

SITO IN ESAME	
COORDINATE GEOGRAFICHE	
LATITUDINE	LONGITUDINE
44.733793	10.923564



**Fig.2.1 - Ubicazione del sito in studio.**

Per un completo inquadramento geografico dell'area si rimanda dalla cartografia allegata alla presente relazione, in particolare alla "Carta topografica", alla scala 1: 5.000 (tav. n. 1) e alla "Ripresa satellitare" alla scala 1: 5.000 (tav. n. 2).

## 2.2 Elementi geologici e geomorfologici

Dalla consultazione della carta delle coperture, si evidenzia come l'area in studio sia caratterizzata da limo tipico di un ambiente alluvionale di piana inondabile.

In particolare l'area in studio è caratterizzata dal **Subsistema di Ravenna – AES8**, caratterizzata da ghiaie e ghiaie sabbiose, passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. Potena fino a oltre 25 m. (Fig. 2.2).

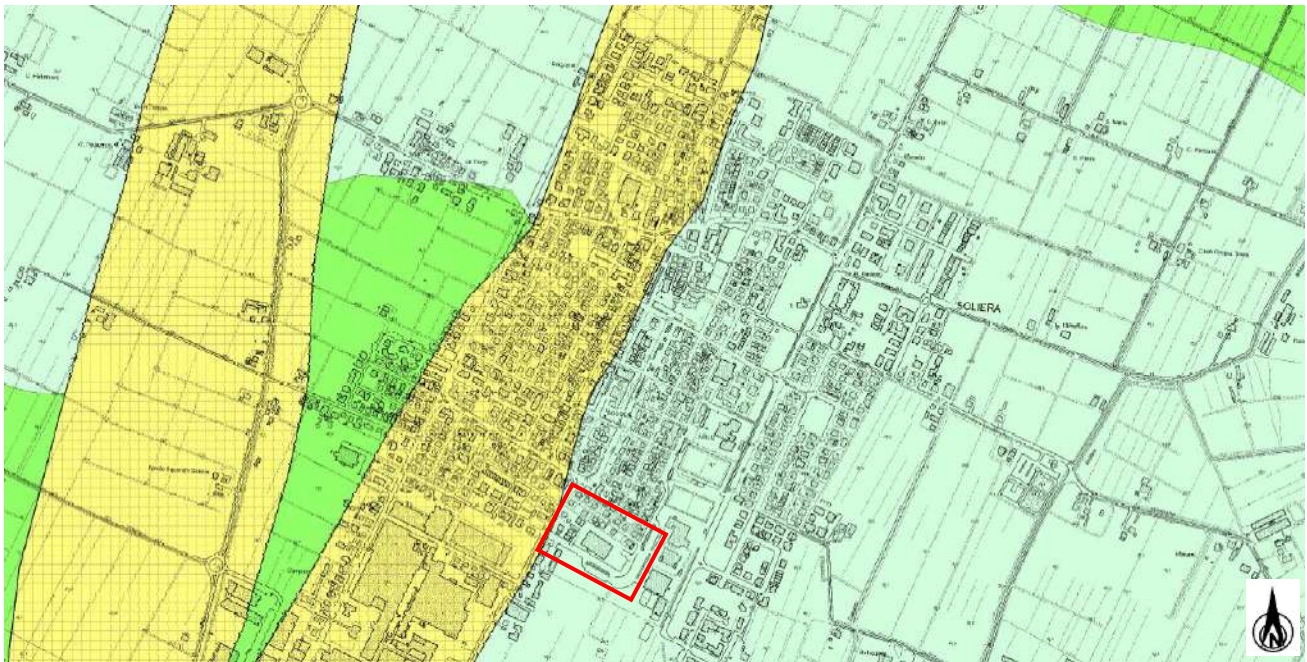


- Linee geomorf./antrop. (10K)**  
= traccia di alveo fluviale abbandonato
- Ambienti deposiz. e litologie (10K)**  
Argilla - Piana alluvionale  
Limo - Piana alluvionale
- Coperture quaternarie (10K)**  
■ AES8 - Subsistema di Ravenna  
■ AES8a - Unità di Modena

**Fig.2.2 – Estratto della carta di litologia di superficie.**

## 2.3 Inquadramento sismico

A supporto dell'analisi sismica e della valutazione della stabilità del sito, successivamente descritta nei paragrafi seguenti, per quel che concerne i fenomeni co-sismici è stata preliminarmente consultata la cartografia relativa allo studio di Microzonazione Sismica del Comune di Soliera (MO), ed in particolare dalla "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica", un cui estratto è riportato in figura (Fig. 2.3), si nota come l'area in studio ricade nella zona Z1, suscettibile di amplificazione locale, pertanto al fine di derivare la pericolosità sismica locale, risulta necessario eseguire la risposta sismica locale al secondo livello di approfondimento, successivamente illustrato al paragrafo §4.3.



### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- Z1** Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità  
 Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche stratigrafiche  
 Studi previsti: Approfondimenti di II° livello
- Z2** Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose, limi argillosi di bassa plasticità  
 Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche stratigrafiche  
 Studi previsti: Approfondimenti di II° livello
- Z3** Argille organiche di media plasticità, con intercalazioni composte da limi-sabbiosi e sabbie limose (spessore massimo 2,00 m) a medio - elevato addensamento  
 Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche stratigrafiche  
 Studi previsti: Approfondimenti di II° Livello
- Z4** Sabbie limose e miscele di sabbia e limo, raccolte in banchi superficiali con spessore variabile da 4,00 a 10,00 m, con al tetto sottili depositi argilloso limosi (Aree golenale - Fiume Secchia).  
 Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche stratigrafiche e potenziali fenomeni di liquefazione dei livelli incoerenti  
 Studi previsti: Approfondimenti di III° livello per la stima del potenziale di liquefazione
- Z5** Sabbie argillose, intercalazioni di orizzonti argillosi ad alta plasticità e livelli sabbiosi da scarso a medio addensamento. Fascia di trasgressione fluviale (Fiume Secchia e canalizzazioni secondarie)  
 Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche stratigrafiche e potenziali fenomeni di liquefazione dei livelli incoerenti  
 Studi previsti: Approfondimenti di III° per stima del potenziale di liquefazione e cedimenti co-sismici

### Zone suscettibili di instabilità

- Z6** Zone potenzialmente liquefaccibili Z<sub>A,eq</sub>  
 Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche stratigrafiche e potenziali fenomeni di liquefazione dei livelli incoerenti  
 Studi previsti: Approfondimenti di III° livello per la stima del potenziale di liquefazione

**Fig.2.3 – Estratto della “Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica” – Microzonazione Sismica del Comune di Soliera.**



## 3 INDAGINI GEOGNOSTICHE

### 3.1 Indagini Geotecniche

In relazione alla litologia presente nell'area e in base alla tipologia di intervento in progetto, sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche:

- **n. 2 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTE/u.**

I risultati delle suddette indagini sono riportati nell'**allegato n. 1**, mentre l'ubicazione è illustrata nella **tav. n. 3**.

#### 3.1.1 Prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTE/U

Le prove sono state eseguite con un penetrometro Gouda dotato di punta elettrica e piezocono CPTE/U. Le caratteristiche tecniche dello strumento impiegato sono le seguenti:

Caratteristiche del Piezocono			
Canali di misura:		Dimensioni:	
Resistenza di punta (qc):	10; 50; 100 MPa	Angolo di apertura cono:	60°
Attrito laterale (fs):	0,5 MPa	Diametro:	36 mm
Pressione nei pori (U):	2,5 MPa	Sezione di spinta:	10 cm <sup>2</sup>
Inclinazione:	0 - 40°	Superficie laterale:	150 cm <sup>2</sup>
		Peso:	2,1 kg
		Lunghezza:	413 mm

Le prove sono state elaborate mediante il software CPeT – IT v. 1.7.4.13 prodotto da GeoLogisMiki – Geotechnical Software. I report, in cui sono riportati su grafici i dati di resistenza e pressione interstiziale misurati ed illustrata l'interpretazione litostratigrafica e geotecnica della prova, sono riportati in **Allegato n.1**. La caratterizzazione litostratigrafica del terreno è stata effettuata in funzione delle carte proposte da Robertson, in cui il tipo di comportamento del terreno è definito da tre parametri: qt, resistenza alla punta corretta, Rf, Bq, nella prima carta (1986) e con i parametri normalizzati nella seconda (1990).

Di seguito si riportano le stratigrafie delle due verticali eseguite (Fig.3.1 -3.2).

**Correlazioni utilizzate per la stima dei parametri geotecnici**

<p><b>:: Unit Weight, <math>g</math> (kN/m<sup>3</sup>) ::</b>  <math>g = g_w \cdot \left( 0.27 \cdot \log(R_f) + 0.36 \cdot \log\left(\frac{q_c}{P_a}\right) + 1.236 \right)</math>                      where <math>g_w</math> = water unit weight</p> <p><b>:: Permeability, <math>k</math> (m/s) ::</b>  <math>I_c &lt; 3.27</math> and <math>I_c &gt; 1.00</math> then <math>k = 10^{0.952 - 3.04 \cdot I_c}</math>  <math>I_c \leq 4.00</math> and <math>I_c &gt; 3.27</math> then <math>k = 10^{-4.52 - 1.37 \cdot I_c}</math></p> <p><b>:: <math>N_{60}</math> (blows per 30 cm) ::</b>  <math>N_{60} = \left( \frac{q_c}{P_a} \right) \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 I_c}}</math>  <math>N_{160} = Q_{60} \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 I_c}}</math></p> <p><b>:: Young's Modulus, <math>E_s</math> (MPa) ::</b>  <math>(q_c - \sigma_v) \cdot 0.015 \cdot 10^{0.55 I_c - 1.168}</math>                      (applicable only to <math>I_c &lt; I_{c, \text{crit}}</math>)</p> <p><b>:: Relative Density, <math>D_r</math> (%) ::</b>  <math>100 \cdot \frac{\sqrt{Q_{60}}}{k_{DR}}</math> (applicable only to SBTs: 5, 6, 7 and 8 or <math>I_c &lt; I_{c, \text{crit}}</math>)</p> <p><b>:: State Parameter, <math>\psi</math> ::</b>  <math>\psi = 0.56 - 0.33 \cdot \log(Q_{60, \text{cl}})</math></p> <p><b>:: Peak drained friction angle, <math>\phi</math> (°) ::</b>  <math>\phi = 17.60 + 11 \cdot \log(Q_{60})</math>                      (applicable only to SBTs: 5, 6, 7 and 8)</p> <p><b>:: 1-D constrained modulus, <math>M</math> (MPa) ::</b>                      If <math>I_c &gt; 2.20</math>  <math>\alpha = 14</math> for <math>Q_{60} &gt; 14</math>  <math>\alpha = Q_{60}</math> for <math>Q_{60} \leq 14</math>  <math>M_{CPT} = \alpha \cdot (q_c - \sigma_v)</math>                      If <math>I_c \leq 2.20</math>  <math>M_{CPT} = (q_c - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 I_c - 1.168}</math></p>	<p><b>:: Small strain shear Modulus, <math>G_0</math> (MPa) ::</b>  <math>G_0 = (q_c - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 I_c - 1.168}</math></p> <p><b>:: Shear Wave Velocity, <math>V_s</math> (m/s) ::</b>  <math>V_s = \left( \frac{G_0}{\rho} \right)^{0.50}</math></p> <p><b>:: Undrained peak shear strength, <math>S_u</math> (kPa) ::</b>  <math>N_{1t} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r)</math> or user defined  <math>S_{u1} = \frac{(q_c - \sigma_v)}{N_{1t}}</math>                      (applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or <math>I_c &gt; I_{c, \text{crit}}</math>)</p> <p><b>:: Remolded undrained shear strength, <math>S_u(\text{rem})</math> (kPa) ::</b>  <math>S_{u(\text{rem})} = f_s</math> (applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or <math>I_c &gt; I_{c, \text{crit}}</math>)</p> <p><b>:: Overconsolidation Ratio, OCR ::</b>  <math>k_{OCR} = \left[ \frac{Q_m^{0.20}}{0.25 \cdot (10.50 + 7 \cdot \log(F_r))} \right]^{1.25}</math> or user defined  <math>OCR = k_{OCR} \cdot Q_{60}</math>                      (applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or <math>I_c &gt; I_{c, \text{crit}}</math>)</p> <p><b>:: In situ Stress Ratio, <math>K_0</math> ::</b>  <math>K_0 = 0.1 \cdot \left( \frac{q_c - \sigma_v}{\sigma_{vo}} \right)</math>                      (applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or <math>I_c &gt; I_{c, \text{crit}}</math>)</p> <p><b>:: Soil Sensitivity, <math>S_t</math> ::</b>  <math>S_t = \frac{N_{1t}}{F_r}</math>                      (applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or <math>I_c &gt; I_{c, \text{crit}}</math>)</p> <p><b>:: Effective Stress Friction Angle, <math>\phi</math> (°) ::</b>  <math>\phi = 29.5^\circ \cdot B_q^{0.121} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_t)</math>                      (applicable for <math>0.10 &lt; B_q &lt; 1.00</math>)</p>
---	---

**Tab.3.1 - Correlazioni utilizzate per la stima dei parametri geotecnici.**

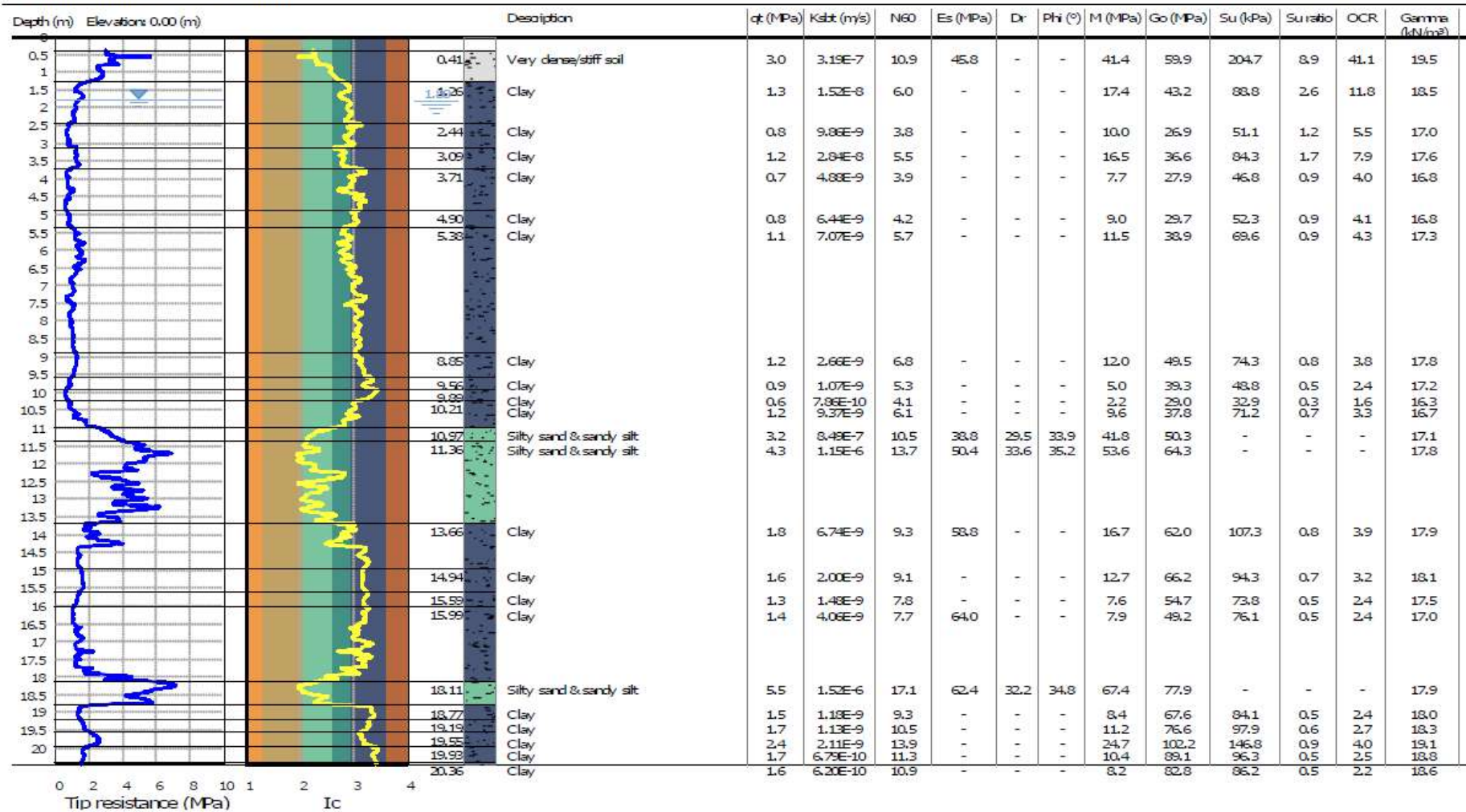


Fig.3.1 – Stratigrafia CPTU1

Project: CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA  
 Location: SOLIERA - VIA G. LOSCHI

CPT: CPTU2

Total depth: 20.36 m, Date: 11/06/2021

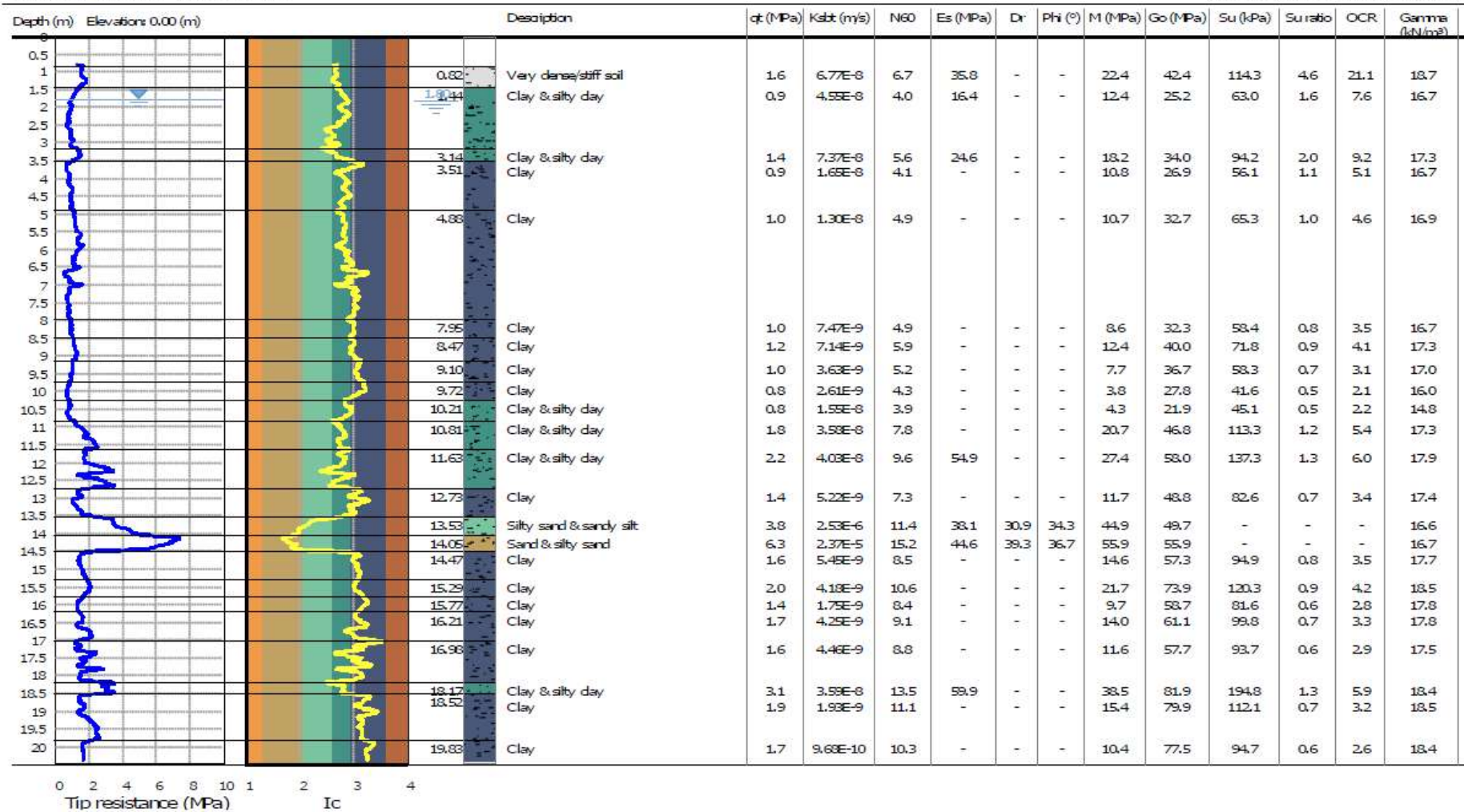


Fig.3.2 – Stratigrafia CPTU2

## 3.2 Indagini Geofisiche

Per la caratterizzazione sismica dell'area di studio, sono state eseguite le seguenti indagini geofisiche:

- **n. 1 indagine sismica passiva HVSR;**
- **n. 1 indagine sismica attiva MASW.**

I risultati delle indagini sismiche sopra citate sono riportati integralmente nell'allegato n. 2.

### 3.2.1 Indagine sismica passiva a stazione singola (analisi HVSR)

Le misure sismiche passive a stazione singola sono state eseguite mediante un tomografo digitale dotato di tre canali velocimetrici, modello Tromino® prodotto da Moho srl (Marghera (VE), Italia). Per l'acquisizione è stata adottata una frequenza di campionamento di 128 Hz per una durata totale di 20 minuti (Fig.3.3).

Lo scopo dell'indagine è la misura della frequenza di risonanza del terreno, la quale è legata alla velocità delle onde di taglio Vs nel terreno dalla formula:

$$f = \frac{V_s}{4h}$$

dove  $h$  è lo spessore dello strato.

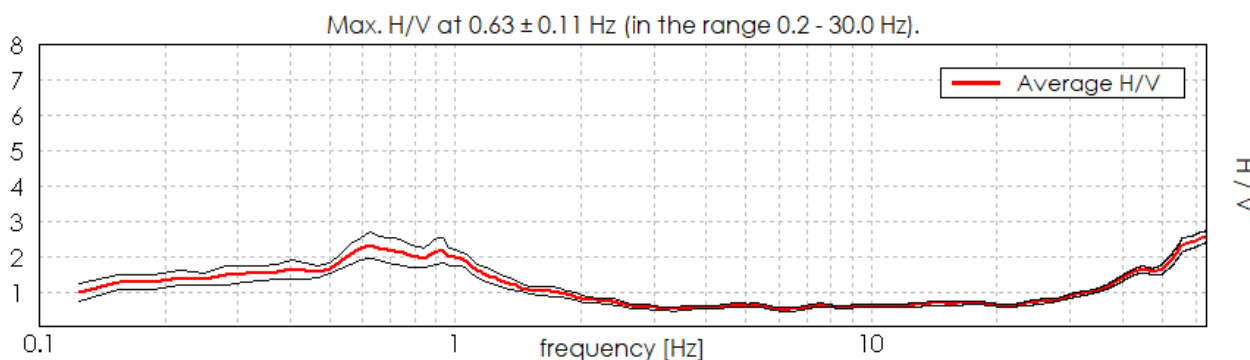
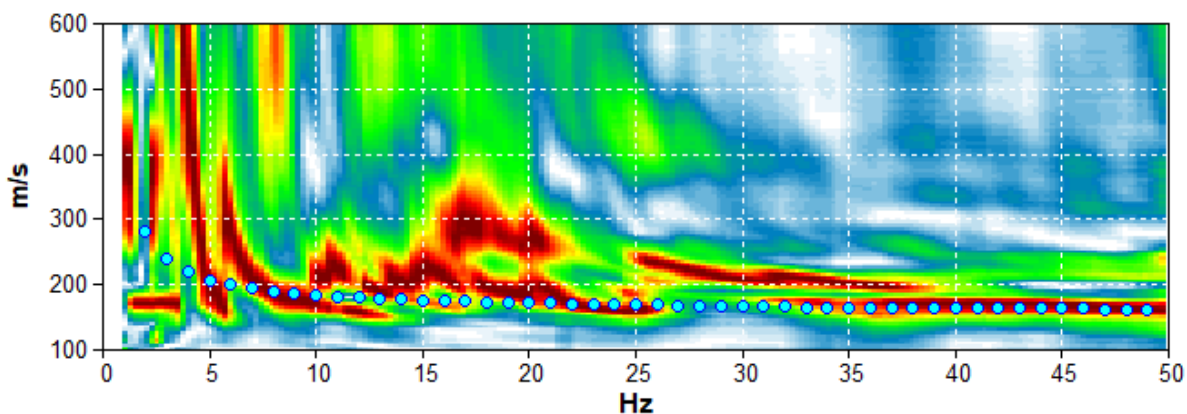


Fig.3.3 - Curva HVSR che identifica un picco a 0.63 Hz

### 3.2.2 Indagine sismica attiva con metodo MASW

Per misurare le velocità delle onde di taglio si possono eseguire prospezioni sismiche mediante stendimenti superficiali, utilizzando geofoni verticali da 4,5 Hz ed acquisendo attivamente i segnali delle onde rifratte alla superficie mediante una sorgente artificialmente provocata. Questa tecnica, nota con la sigla **MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves), permette di ricostruire il profilo verticale delle Vs con procedimenti di modellazione diretta delle velocità di fase delle onde, rifratte alla superficie. Partendo dal sismogramma registrato mediante sorgente energizzante in asse con lo stendimento, viene eseguita un'analisi spettrale che ha consentito di elaborare un'immagine della distribuzione del segnale di velocità sismica in funzione delle diverse frequenze che lo compongono. Da tale elaborazione, tramite una fase di "picking" del segnale ad elevata intensità è stata ottenuta la "curva di dispersione", dalla cui inversione è stato calcolato il **modello sismo-stratigrafico** espresso in termini di velocità delle onde di taglio (Vs). I dati sono stati registrati mediante un sismografo *Geode Geometrics* 24 bit con filtri disinseriti, velocità di campionamento (sample rate) di 0.25 millisecondi e lunghezza delle acquisizioni di 2 secondi. Si effettuano

battute poste ad offset diversi (10 m e 15 m di distanza dal primo geofono) mediante grave da 8,0 kg di massa. Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh,  $V(\text{fase})/\text{freq.}$ , può essere convertito nel profilo  $V_s/\text{profondità}$ . Tale metodo non è univoco e quindi il modello che ne scaturisce è un modello teorico; per questo motivo è preferibile operare in presenza di dati di taratura (come nel caso specifico) onde ricavare il modello reale (Fig.3.4).

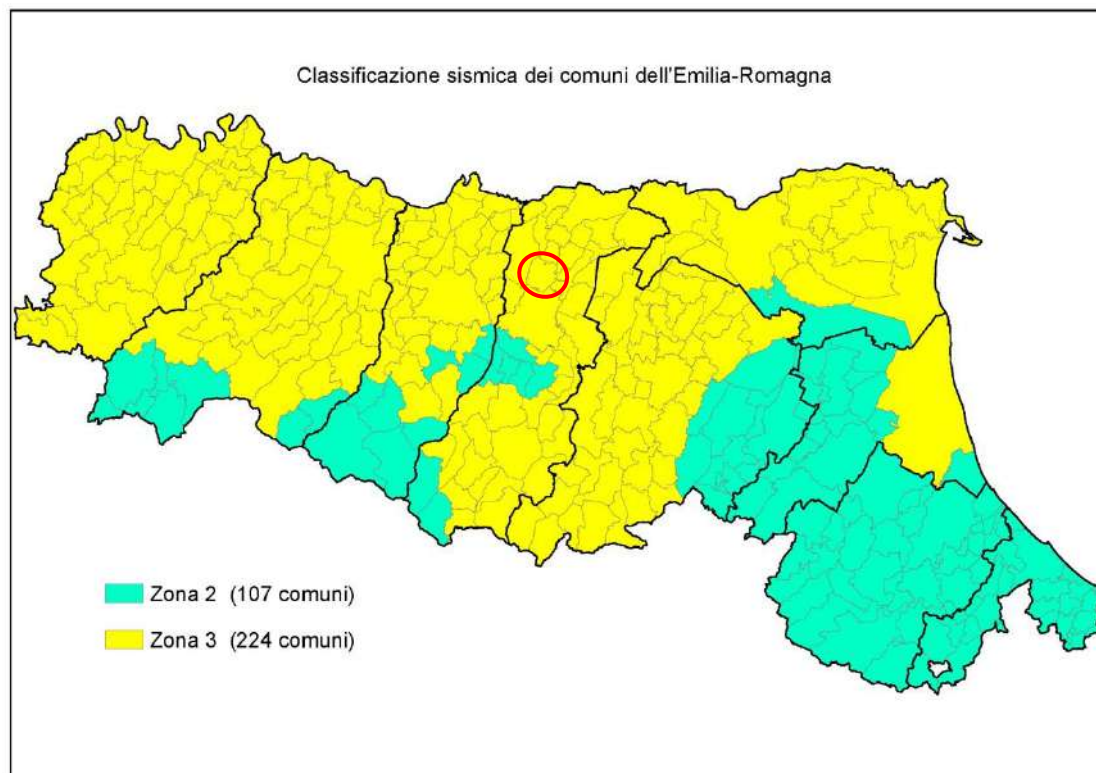


**Fig.3.4 - Curva di dispersione MASW.**

## 4 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

### 4.1 Pericolosità sismica di base

Secondo la classificazione sismica del territorio nazionale proposta a partire dall'O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche, il **Comune di Soliera (MO)** risulta appartenente alla **classe di sismicità 3** (Fig. 4.1).



**Fig.4.1 - Classificazione sismica e dei comuni della regione Emilia-Romagna a partire dall'O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche (aggiornamento luglio 2018) e ubicazione del territorio comunale di Soliera (MO).**

La suddivisione del territorio nazionale in zone a diversa classe di sismicità, caratterizzate da un valore di accelerazione di picco ed un corrispondente spettro di risposta elastico da utilizzare nella progettazione, risulta in realtà superata dall'entrata in vigore del D.M. 14/01/2008. Sulla base dei contenuti delle NNTC 2008 e delle successive NTC 2018, per ogni costruzione deve essere definita un'accelerazione di riferimento propria, in funzione delle coordinate geografiche dell'area e della vita nominale dell'opera.

Per ciascuna area in oggetto, in relazione a un periodo di riferimento  $T_R$  stimato di 475 anni, è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa  $a_g$  definita in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido e con superficie topografica orizzontale. L'accelerazione  $a_g$  rappresenta uno dei parametri principali che definisce la **pericolosità sismica di base**, insieme ai parametri  $F_0$  e  $Tc^*$  dello spettro di risposta elastico, desumibili nelle tabelle riportate sotto (Tab. 4.1).

## Stati limite



Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...



Vita Nominale

50



Interpolazione

Media ponderata

**CU = 1**

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.045	2.488	0.252
Danno (SLD)	50	0.056	2.505	0.267
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.158	2.570	0.272
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.210	2.524	0.279
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

**Tab.4.1 - Tabella riassuntiva dei parametri sismici del sito in esame secondo NTC18.**



## 4.2 Categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC2018)

Per determinare il parametro  $V_{30}$  e definire quindi la categoria di sottosuolo dell'area indagata (§ 3.2.2 NTC 2018) sono state eseguite in sito le indagini sismiche sopra descritte nel paragrafo precedente. Il valore di  $V_{30}$  si calcola attraverso la formula 3.2.1 delle NTC 2018:

$$V_{s,Eq} = \frac{H}{\sum_i \frac{h_i}{v_{si}}}$$

dove H è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Dall'elaborazione delle indagini sismiche MASW e HVSR si sono ottenuti i valori di  $V_{s,30}$  e di frequenza naturale del terreno  $f_0$  riportati nelle seguenti tabelle:

MASW	$V_{s30}$	213 m/s
------	-----------	---------

HVSR	$0.63 \pm 0.11$ HZ	NON RISPETTA I CRITERI SESAME
------	--------------------	-------------------------------

Pertanto, secondo la classificazione del sottosuolo imposta dal NTC 2018, si definisce il sottosuolo indagato come appartenente alla appartenente alla **categoria C**, corrispondente a

DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA MEDIAMENTE ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MEDIAMENTE CONSISTENTI CON PROFONDITÀ DEL SUBSTRATO SUPERIORI A 30 m, CARATTERIZZATI DA UN MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI VELOCITÀ EQUIVALENTE COMPRESI TRA **180 m/s** E **360 m/s**.

### 4.3 Azione sismica e risposta sismica del sito – Secondo livello di approfondimento (DGR 476/2021)

Dalla consultazione della “Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica” l’area in studio si colloca in corrispondenza di una microzona stabile suscettibile di amplificazione locale per caratteristiche litostratigrafiche. Sono pertanto richiesti approfondimenti di II livello.

In accordo con la nuova normativa regionale DGR 476/2021 della Regione Emilia Romagna si procede alla verifica degli aspetti sismici specifici del sito di interesse.

In particolare per la stima del fattore di amplificazione FA sono state eseguite le indagini MASW e HVSR, al fine di definire lo spessore H del deposito di copertura e la velocità equivalente delle onde di taglio per lo spessore considerato. Dall’elaborazione congiunta delle indagini geofisiche, è stato possibile determinare uno spessore di copertura H pari a **134.00 m** con una Vs pari a **213 m/s**.

Come descritto nell’all. 2 della DGR 476/2021, la stima del fattore di amplificazione **FA** è stata calcolata considerando un tempo di ritorno TR=475 anni, con uno smorzamento  $\zeta=5\%$ , e relativi parametri rappresentativi dello scuotimento sismico, in particolare:

- accelerazione di picco orizzontale (PGA);
- intensità spettrale SA

$$SA = \int_{T_1}^{T_2} A(T, \zeta) dT$$

dove A è lo spettro di risposta in accelerazione, T è il periodo proprio e  $\zeta$  è lo smorzamento; sono stati considerati quattro intervalli di periodo proprio T ottenendo quattro valori di intensità spettrale:

	<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>
<b>SA1</b>	0,1 s	0,5 s
<b>SA2</b>	0,4 s	0,8 s
<b>SA3</b>	0,7 s	1,1 s
<b>SA4*</b>	0,5 s	1,5 s

- intensità spettrale SI

$$SI = \int_{T_1}^{T_2} V(T, \zeta) dT$$

dove V è lo spettro di risposta in velocità, T è il periodo proprio e  $\zeta$  è lo smorzamento; sono stati considerati tre intervalli di periodo proprio T ottenendo tre valori di intensità

	<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>
<b>SI1</b>	0,1 s	0,5 s
<b>SI2</b>	0,5 s	1,0 s
<b>SI3*</b>	0,5 s	1,5 s

La scelta delle tabelle è stata eseguita non solo dalle caratteristiche litologiche e morfologiche dell'area ma anche da un'attenta valutazione sulle caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo, in particolare dalla profondità e dal tipo di substrato.

L'area in oggetto, sulla scorta delle informazioni geologiche disponibili e precedentemente illustrate, risulta inserita in un contesto di tipo **PIANURA 2**, caratterizzato da sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c..

Di seguito si riportano le tabelle utilizzate per il calcolo del FA per la zona in oggetto, PIANURA 2. In particolare dall'indagine sismica MASW si è ricavata una  $V_{s30}$  pari 213 m/s, pertanto si è approssimato ai valori di Fa della colonna corrispondenti ad una  $V_s$  pari a 200 m/s.

<b>V<sub>s 30</sub> (m/s)</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>300</b>	<b>350</b>	<b>400</b>
PGA	1.7	<b>1.7</b>	1.7	1.6	1.5	1.5

**Fattore di amplificazione PGA**

<b>V<sub>s 30</sub> (m/s)</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>300</b>	<b>350</b>	<b>400</b>
SA1	1.8	<b>1.8</b>	1.8	1.7	1.6	1.5
SA2	2.7	<b>2.7</b>	2.4	2.1	1.9	1.8
SA1	3.3	<b>3.2</b>	2.8	2.5	2.3	2.1
SA4	3.3	<b>3.1</b>	2.7	2.4	2.1	1.9

**Fattore di amplificazione SA1 (0.1 s < T < 0.5 s), SA2 (0.4 s < T < 0.8 s), SA3 (0.7 s < T < 1.1 s), SA4 (0.5 s < T < 1.5 s).**

<b>V<sub>s 30</sub> (m/s)</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>300</b>	<b>350</b>	<b>400</b>
SI1	2.0	<b>2.0</b>	1.9	1.8	1.7	1.6
SI2	3.1	<b>3.0</b>	2.7	2.4	2.1	2.0
SI1	3.6	<b>3.3</b>	2.9	2.5	2.2	2.0

**Fattore di amplificazione SI1 (0.1 s < T < 0.5 s), SI2 (0.5 s < T < 1.0 s), SI3 (0.5 s < T < 1.5 s).**

Di conseguenza, adottando un fattore di amplificazione della PGA pari a 1.70 e un valore di PGA di ancoraggio pari a 0.158 g (Tr 475 anni SLV), si ottiene un valore di PGA in superficie pari a **0.269g**.

## 4.4 Stabilità nei confronti della liquefazione (§ A2.2. DGR 476/2021) considerando il valore di PGA ottenuto dallo studio di secondo livello

In accordo con la normativa regionale DGR 476/21 si è proceduto alla verifica della liquefazione per le verticali di prova CPTu1 – CPTu2.

La valutazione del fenomeno della liquefazione viene svolta attraverso il calcolo del fattore di sicurezza di ciascun livello che compone il sottosuolo analizzato nei confronti del fenomeno stesso. Il fattore di sicurezza è derivato secondo la seguente formulazione:

$$F_L(z) = \frac{CRR_{M=7.5; \sigma'_v=1atm}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_\sigma$$

Dove:

**CRR** è rappresentato dal rapporto di resistenza ciclica

**MSF** rappresenta il fattore di scala della magnitudo che è funzione della magnitudo stessa, della PGA e del valore di CRR

**K<sub>σ</sub>** è il fattore di correzione che tiene conto della pressione efficace alla profondità a cui la resistenza viene valutata

**CSR** è il rapporto di tensione ciclica, ovvero la tensione di taglio indotta dall'azione sismica, normalizzata rispetto alla tensione verticale efficace. Tale parametro è derivabile secondo la seguente formulazione:

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \cdot \frac{a_{maxs}}{g} \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot r_d$$

I termini che compongono la seguente relazione sono rappresentati da  $a_{max}/g$  che descrive il valore dell'accelerazione orizzontale a  $T = 0.00$  s, il rapporto della tensione litostatica totale ed efficace, e il coefficiente riduttivo  $r_d$ . Quest'ultimo, in accordo con la predetta normativa è stato stimato secondo la seguente formulazione:

$$r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z) \cdot M]$$
$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \cdot \text{sen}\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right)$$
$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \cdot \text{sen}\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$$

dove M rappresenta il valore di magnitudo di riferimento per il sito in analisi.

Il valore **CRR** è stato ricavato attraverso la metodologia di calcolo proposta da **Boulanger&Idriss 2014**. Per le specifiche della procedura di calcolo adottata si faccia riferimento all'allegato **A2.2** della DGR 476/2021

della Regione Emilia Romagna. L'analisi di liquefazione è stata eseguita entro i -20.00 m rispetto al piano campagna come prescritto dalla normativa di riferimento.

Le verifiche sono state svolte considerando una magnitudo di riferimento  $M = 6.14$  (derivante dalla zonazione sismogenetica) e una accelerazione massima al suolo  $A_{max} = 0.269g$ , approssimata a  $0.27g$  (DGR 476/2021).

A seguito dell'identificazione del fattore di sicurezza  $F_L$  è stato determinato l'indice potenziale di liquefazione IL (LPI) attraverso il quale è possibile definire l'esposizione del sito al rischio di liquefazione. Il potenziale di liquefazione LPI è stato determinato secondo la seguente formulazione:

$$I_L = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz \quad \text{in cui} \quad w(z) = \frac{200}{z_{crit}} \cdot \left(1 - \frac{z}{z_{crit}}\right)$$

Dove  $F(z)$  viene determinato secondo le formulazioni proposte da Somnez (2003)

$$\begin{array}{ll} F(z) = 0 & \text{per } F_L \geq 1.2 \\ F(z) = 2 \cdot 10^6 \cdot \exp(-18.427 \cdot F_L) & \text{per } 1.2 > F_L \geq 0.95 \\ F(z) = 1 - F_L & \text{per } F_L \leq 0.95 \end{array}$$

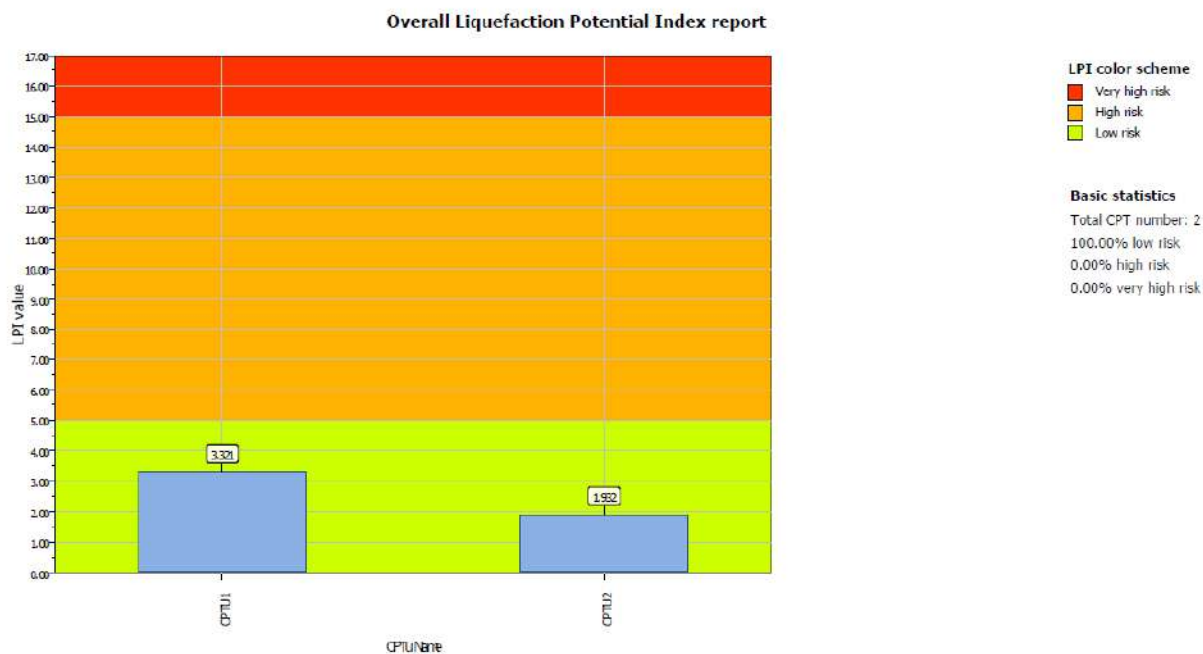
In base al valore di LPI ottenuto è possibile fornire un'indicazione del rischio di liquefazione. In considerazione delle linee guida emesse dalla Regione Emilia Romagna, a seguito degli eventi sismici di Maggio e Giugno 2012, si considera la classificazione di rischio definita da **Sonmez 2003**:

INDICE DI LIQUEFAZIONE	Rischio di liquefazione
LPI=0	Nulla
0 < LPI ≤ 2	Basso
2 < LPI ≤ 5	Moderato
5 < LPI ≤ 10	Alto
15 > LPI	Molto alto

Si illustra successivamente il valore di LPI derivato dalle verticali di prova CPTu1 e CPTu2, considerando un'accelerazione massima al suolo  $A_{max} = 0.269g$ , approssimata a  $0.27g$  (DGR 476/2021), la soggiacenza della falda freatica è stata considerata in condizioni sismiche, alla profondità  $D_w = -1.00$  m e una magnitudo di riferimento pari a  $M=6.14$ .

A seguito della verifica, si sono ottenuti i seguenti valori di LPI (Fig. 4.2):

INDAGINE	INDICE DI LIQUEFAZIONE	RISCHIO
CPTu1	3.321	MODERATO
CPTu2	1.932	BASSO



**Fig.4.2 – Valori di LPI ottenuti dalle prove CPTu.**

**Dato l'indice di liquefazione per la verticale di prova CPTU1 è > 2, è stato eseguito lo studio di risposta sismica locale al terzo livello di approfondimento §4.5, come richiesto dal PSC del Comune di Soliera.**

## 4.5 Azione sismica e risposta sismica del sito – Terzo livello di approfondimento (DGR 476/2021)

Per ottemperare ai riferimenti normativi citati l'analisi è stata svolta secondo quanto indicato dalla DGR 476/2021, attraverso analisi numerica monodimensionale in campo lineare equivalente. Per fare ciò è stato utilizzato come strumento di lavoro il software di calcolo STRATA (University of Texas - Austin).

Ai fini della restituzione degli spettri di accelerazione, relativi allo stato limite SLV, è stata svolta la verifica dell'amplificazione del sito mediante l'utilizzo di un modello simulato in campo lineare equivalente.

Utilizzando un modello lineare equivalente è possibile ottenere una soluzione di un modello non lineare, attraverso analisi lineari complete nelle quali al termine di ogni interazione vengono aggiornati i parametri di **rigidezza** e **smorzamento** che sono dipendenti dallo stato di deformazione del terreno. Attraverso un'iterazione di calcoli si raggiunge una convergenza prefissata a monte della fase di computazione.

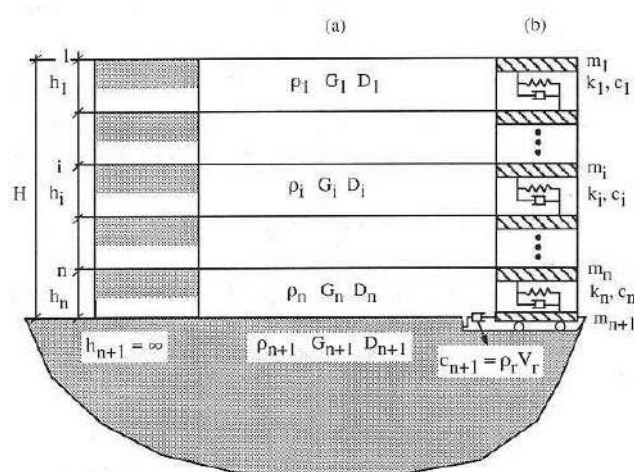
Il software STRATA è in grado di valutare la risposta sismica di un deposito di terreno, considerando un profilo monodimensionale in cui si propagano linearmente le onde sismiche, in funzione dei parametri dinamici attribuiti al terreno. Il terreno viene schematizzato come un sistema di N strati orizzontali omogenei, isotropi e visco-elastici, sovrastanti un semispazio uniforme, attraversati da un treno di onde di taglio che incidono verticalmente le superfici. Ogni strato è descritto per mezzo dello spessore  $H$ , del modulo di taglio massimo  $G_{max}$  o dalla corrispondente velocità massima  $V_{max}$ , dal valore dello smorzamento  $D$ , dal peso dell'unità di volume  $\gamma$  e dalle curve di decadimento del modulo di rigidezza a taglio normalizzato ( $G / G_0 - \gamma$ ) e le corrispondenti curve dello smorzamento ( $D - \gamma$ ) con la deformazione di taglio  $\gamma$ . Il modello lineare visco-elastico fa riferimento al modello reologico di Kelvin-Voigt, costituito da una molla e uno smorzatore viscoso in parallelo. Tale modello è descritto quindi dalla rigidezza (**G**) e dallo smorzamento (**D**). L'onda monodimensionale viene descritta dall'equazione in cui lo spostamento provocato ( $u$ ) è funzione della profondità ( $z$ ) e del tempo ( $t$ ):

$$u(z, t) = A \exp [i (\omega t + k^* z)] + B \exp [i (\omega t - k^* z)]$$

Nell'equazione appena presentata A e B rappresentano le corrispettive amplificazioni del tetto e della base dello strato considerato. Il fattore  $k^*$  risulta dipendente dal modulo di taglio ( $G$ ), dal grado di smorzamento ( $D$ ) e dalla densità del terreno ( $\rho$ ). Le relazioni sono le seguenti:

$$k^* = \frac{\omega}{v_s^*}$$
$$v_s^* = \sqrt{\frac{G^*}{\rho}} \quad G^* = G \left( 1 - 2D^2 + i2D \sqrt{1 - D^2} \right) \simeq G(1 + i2D)$$

Dove  $G^*$  e  $v_s^*$  rappresentano il modulo di taglio e la velocità di taglio.



**Fig.4.3 - Modello a strati continui adottato per la simulazione con il codice di calcolo STRATA.**

**MODELLO SIMULATO**

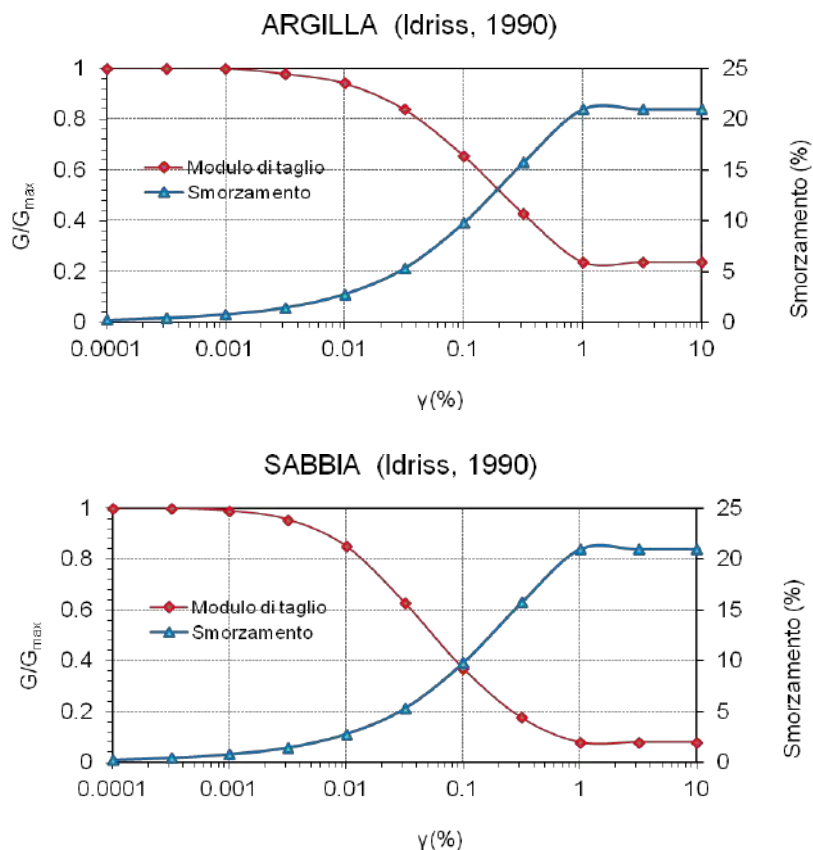
Il modello simulato deriva dai dati ottenuti dalla prova geofisica che compone la campagna geognostica eseguita in sito. Tale profilo approssima il comportamento del sottosuolo, dal punto di vista sismico, in corrispondenza dell'area studiata. Il profilo considerato deriva dall'interpolazione dei dati provenienti dalle indagini geofisiche eseguite e i dati, di natura bibliografica, disponibili per il sito di riferimento. Il profilo sismico del sottosuolo utilizzato per la modellazione della RSL deriva dall'elaborazione congiunta delle indagini HVSR e MASW eseguite in sito, integrate con dati di bibliografia. Si illustra successivamente il modello utilizzato:

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.00	3.00	170	0.46
9.00	6.00	190	0.45
19.00	10.00	210	0.45
39.00	20.00	250	0.44
74.00	35.00	300	0.43
134.00	60.00	400	0.42
inf.	inf.	500	0.42

**Tab.4.2 – Modello ottenuto dall'elaborazione delle indagini sismiche congiunte MASW e HVSR.**

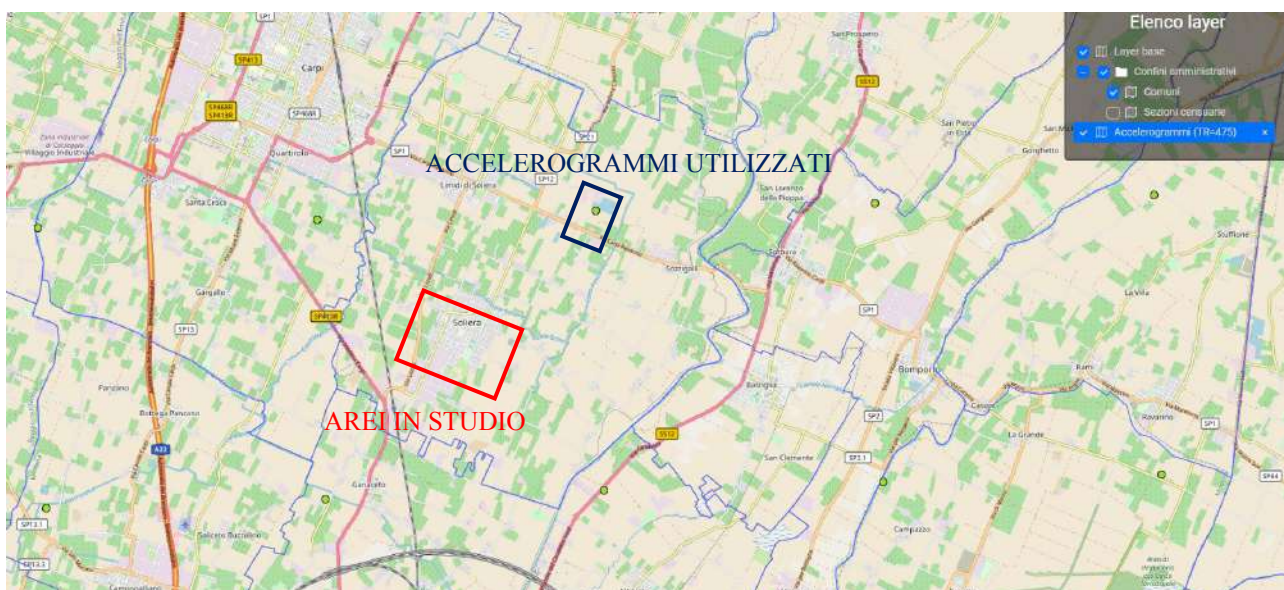
Per descrivere il comportamento dinamico dei terreni costituenti il modello sono state considerate curve di decadimento dei moduli di rigidezza e smorzamento, al variare della deformazione percentuale  $\gamma(\%)$ . Si riportano successivamente le curve di decadimento considerate per l'esecuzione del calcolo di risposta sismica locale:





**Fig.4.4 - Curve di decadimento dei moduli  $G/G_{max}$  e  $D$ , utilizzate per descrivere il comportamento dei materiali coesivi e incoerenti che compongono il sottosuolo in oggetto.**

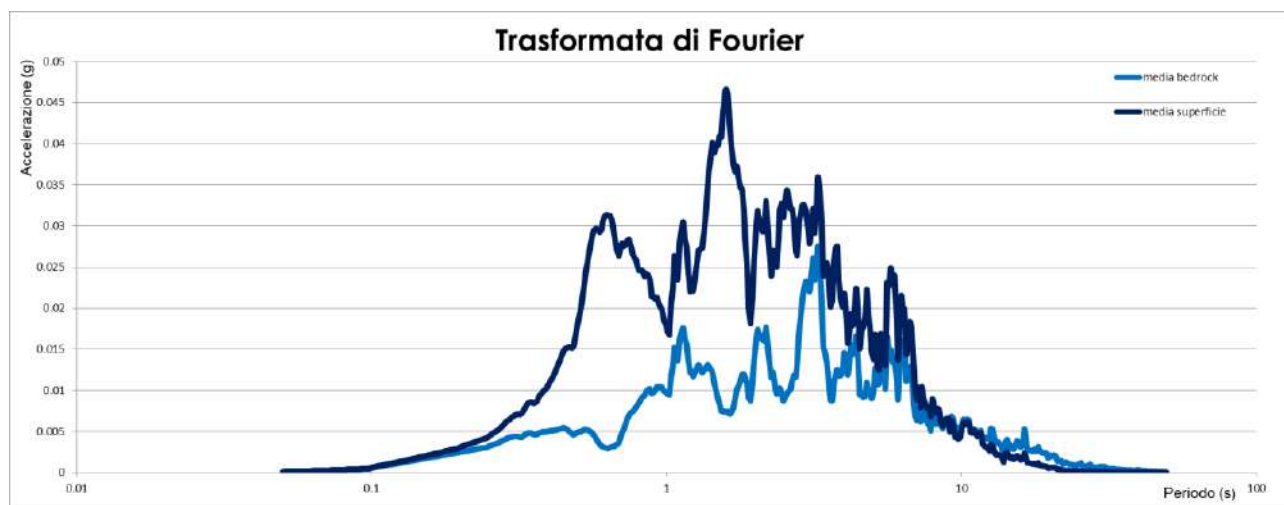
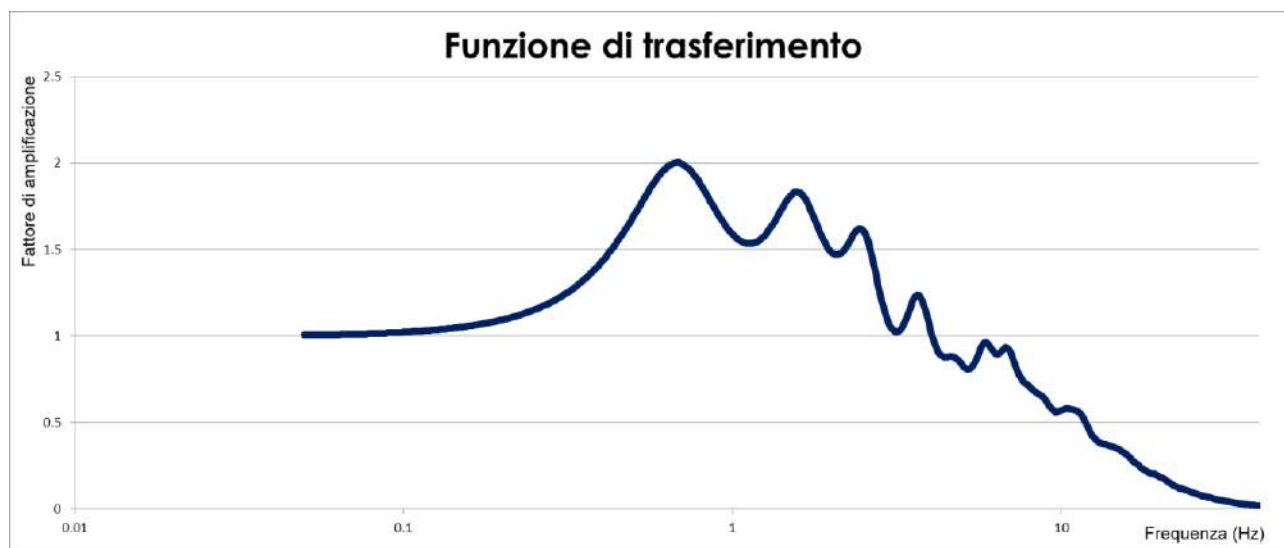
In accordo con quanto esposto nella D.G.R. 476/21, l'analisi RSL in oggetto è stata svolta adottando come input sismico 7 accelerogrammi, corrispondenti allo stato limite SLV. Gli accelerogrammi stati scaricati dal sito della RER (Fig. 4.5).



**Fig.4.5 – Accelerogrammi utilizzati – Regione Emilia Romagna**

## **RISULTATI OTTENUTI**

Sulla scorta delle verifiche svolte mediante software STRATA, in riferimento al modello considerato, è stato possibile definire, nel dominio delle frequenze, la funzione TF (Funzione di trasferimento) e rapporto spettrale di amplificazione associato. Per via grafica si inserisce successivamente la funzione di trasferimento TF ottenuta a seguito dell'analisi RSL in oggetto. Attraverso tale funzione è possibile definire il campo di frequenze entro il quale il sottosuolo, in corrispondenza del sito in oggetto, amplifica il segnale sismico, oltre che a quantificare l'amplificazione stessa.

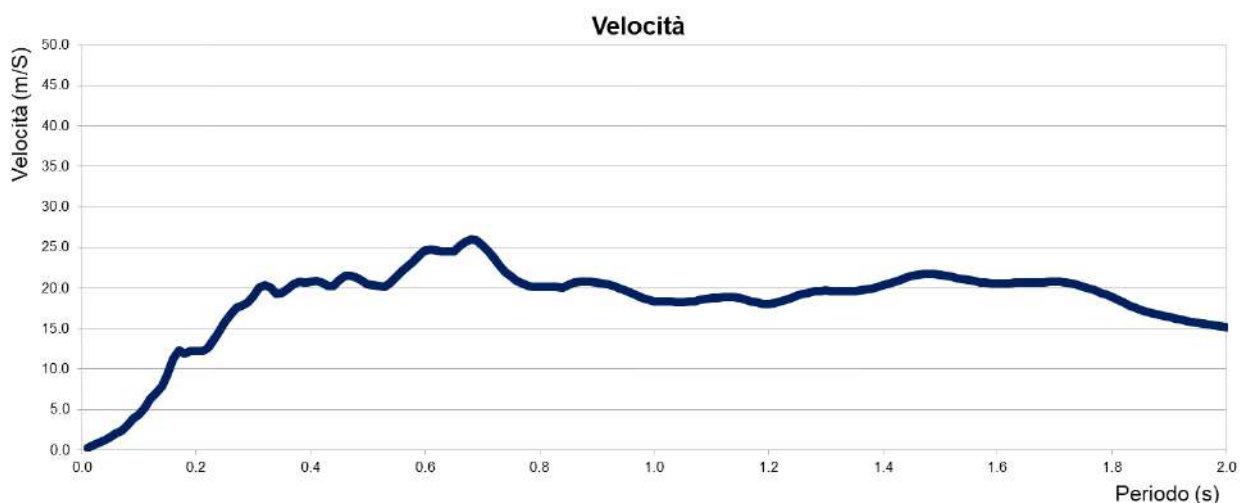


*In alto Funzione di Trasferimento e in basso funzione FT.*

Definiti i parametri che descrivono il comportamento del sottosuolo nel campo elastico lineare equivalente e descritti gli accelerogrammi su suolo rigido validi per il sito in oggetto, attraverso il software STRATA sono state definite le seguenti forme spettrali, in termini accelerazione e velocità alla superficie:



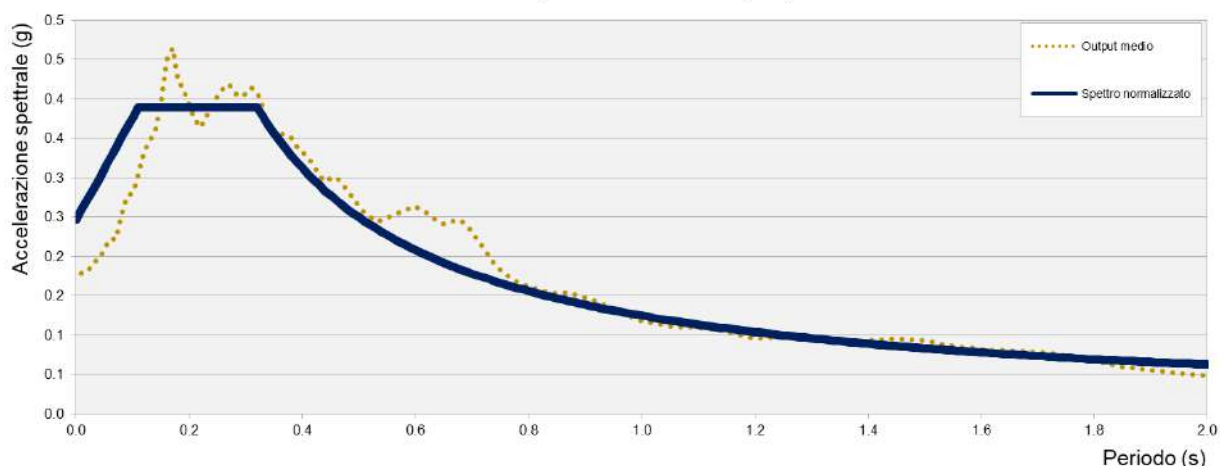
***Accelerazioni spettrali relative a un periodo di ritorno pari a 475 anni (SLV)***



***Velocità spettrali relative a un periodo di ritorno pari a 475 anni (SLV).***

Dati i valori di accelerazione ottenuti dal calcolo eseguito, è stato definito lo spettro normalizzato per lo stato limite considerato. Così facendo è stato ottenuto lo spettro a probabilità uniforme, sulla base dei risultati ottenuti mediante il software STRATA. Lo spettro normalizzato RSL è stato derivato attraverso le indicazioni contenute nell'ordinanza n.55 del 24 aprile 2018 "Disciplina per la delocalizzazione temporanea delle attività economiche o produttive e dei servizi pubblici danneggiati dal sisma eseguiti e conclusi in data anteriore a quella di entrata in vigore del decreto legge n. 189 del 2016".

**SINTESI ESITI (SLV 475 anni - Top.1)**



**Sintesi esiti RSL e confronto con spettro NTC2018 (SLV) derivato secondo approccio semplificato**

Lo spettro RSL, sia nella forma per punti, sia nella forma normalizzata, definito sulla base di 7 simulazioni definisce un'azione sismica inferiore rispetto a quanto derivabile dallo studio di risposta sismica locale di secondo livello § 4.3. Si illustra successivamente, in forma tabellare, lo spettro RSL per punti e il suo corrispettivo normalizzato.

SLV – PARAMETRI SPETTRO NORMALIZZATO - RSL						
ag (g)	Fo	Tc*	TB(s)	TC(s)	Ss	Amax (g)
0.158	1.582	0.272	0.11	0.32	1.56	<b>0.246</b>

In forza di ciò risulta ragionevole e cautelativo adottare, ai fini di progettazione, l'azione sismica derivabile dal secondo livello di approfondimento. Pertanto non è necessario riportare i valori di fattori di amplificazione per i periodi SA1-SA2-SA3-SA4 e SI1-SI2-SI3.

## RSL NORMALIZZATO SLV

T [s]	Ag				
<b>0.00</b>	<b>0.24648</b>	0.5	0.2496	1.01	0.123564356
0.01	0.259527273	0.51	0.244705882	1.02	0.122352941
0.02	0.272574545	0.52	0.24	1.03	0.121165049
0.03	0.285621818	0.53	0.235471698	1.04	0.12
0.04	0.298669091	0.54	0.231111111	1.05	0.118857143
0.05	0.311716364	0.55	0.226909091	1.06	0.117735849
0.06	0.324763636	0.56	0.222857143	1.07	0.116635514
0.07	0.337810909	0.57	0.218947368	1.08	0.115555556
0.08	0.350858182	0.58	0.215172414	1.09	0.114495413
0.09	0.363905455	0.59	0.211525424	1.1	0.113454545
0.1	0.376952727	0.6	0.208	1.11	0.112432432
0.11	0.39	0.61	0.204590164	1.12	0.111428571
0.12	0.39	0.62	0.201290323	1.13	0.110442478
0.13	0.39	0.63	0.198095238	1.14	0.109473684
0.14	0.39	0.64	0.195	1.15	0.108521739
0.15	0.39	0.65	0.192	1.16	0.107586207
0.16	0.39	0.66	0.189090909	1.17	0.106666667
0.17	0.39	0.67	0.186268657	1.18	0.105762712
0.18	0.39	0.68	0.183529412	1.19	0.10487395
0.19	0.39	0.69	0.180869565	1.2	0.104
0.2	0.39	0.7	0.178285714	1.21	0.103140496
0.21	0.39	0.71	0.175774648	1.22	0.102295082
0.22	0.39	0.72	0.173333333	1.23	0.101463415
0.23	0.39	0.73	0.170958904	1.24	0.100645161
0.24	0.39	0.74	0.168648649	1.25	0.09984
0.25	0.39	0.75	0.1664	1.26	0.099047619
0.26	0.39	0.76	0.164210526	1.27	0.098267717
0.27	0.39	0.77	0.162077922	1.28	0.0975
0.28	0.39	0.78	0.16	1.29	0.096744186
0.29	0.39	0.79	0.157974684	1.3	0.096
0.3	0.39	0.8	0.156	1.31	0.095267176
0.31	0.39	0.81	0.154074074	1.32	0.094545455
0.32	0.39	0.82	0.152195122	1.33	0.093834586
0.33	0.378181818	0.83	0.150361446	1.34	0.093134328
0.34	0.367058824	0.84	0.148571429	1.35	0.092444444
0.35	0.356571429	0.85	0.146823529	1.36	0.091764706
0.36	0.346666667	0.86	0.145116279	1.37	0.091094891
0.37	0.337297297	0.87	0.143448276	1.38	0.090434783
0.38	0.328421053	0.88	0.141818182	1.39	0.089784173
0.39	0.32	0.89	0.140224719	1.4	0.089142857
0.4	0.312	0.9	0.138666667	1.41	0.088510638
0.41	0.304390244	0.91	0.137142857	1.42	0.087887324
0.42	0.297142857	0.92	0.135652174	1.43	0.087272727
0.43	0.290232558	0.93	0.134193548	1.44	0.086666667
0.44	0.283636364	0.94	0.132765957	1.45	0.086068966
0.45	0.277333333	0.95	0.131368421	1.46	0.085479452
0.46	0.271304348	0.96	0.13	1.47	0.084897959
0.47	0.265531915	0.97	0.128659794	1.48	0.084324324
0.48	0.26	0.98	0.127346939	1.49	0.083758389
0.49	0.254693878	0.99	0.126060606	1.5	0.0832
		1	0.1248	1.51	0.082649007
				1.52	0.082105263
				1.53	0.081568627
				1.54	0.081038961
				1.55	0.080516129
				1.56	0.08
				1.57	0.079490446
				1.58	0.078987342
				1.59	0.078490566
				1.6	0.078
				1.61	0.077515528
				1.62	0.077037037
				1.63	0.076564417
				1.64	0.076097561
				1.65	0.075636364
				1.66	0.075180723
				1.67	0.074730539
				1.68	0.074285714
				1.69	0.073846154
				1.7	0.073411765
				1.71	0.072982456
				1.72	0.07255814
				1.73	0.072138728
				1.74	0.071724138
				1.75	0.071314286
				1.76	0.070909091
				1.77	0.070508475
				1.78	0.07011236
				1.79	0.06972067
				1.8	0.069333333
				1.81	0.068950276
				1.82	0.068571429
				1.83	0.068196721
				1.84	0.067826087
				1.85	0.067459459
				1.86	0.067096774
				1.87	0.066737968
				1.88	0.066382979
				1.89	0.066031746
				1.9	0.065684211
				1.91	0.065340314
				1.92	0.065
				1.93	0.064663212
				1.94	0.064329897
				1.95	0.064
				1.96	0.063673469
				1.97	0.063350254
				1.98	0.063030303
				1.99	0.062713568
				2	0.0624

## 4.6 Cedimenti post sismici – Terzo livello di approfondimento (DGR 476/2021)

Dato l'indice di liquefazione IL per la CPTU1 > 2, è necessario valutare i cedimenti post-sismici (PSC Comune di Soliera).

Per cedimento si intende l'abbassamento del piano campagna, ovvero la sommatoria dei prodotti della deformazione verticale media per lo spessore di ciascuno degli strati deformati.

Il cedimento post sismico può essere dovuto a terreni granulari saturi, insaturi e a terreni coesivi soffici; tali cedimenti vengono stimati con la seguente equazione:

$$s = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{vi} \cdot \Delta z_i$$

$\varepsilon_{vi}$  = deformazione volumetrica;

$\Delta z_i$  = spessore dello strato i-esimo.

I cedimenti conseguenti a liquefazione di terreni granulari saturi hanno luogo immediatamente dopo il terremoto o comunque in un tempo non superiore a un giorno, i cedimenti per densificazione di terreni granulari insaturi avvengono durante lo scuotimento sismico, mentre i cedimenti per consolidazione di terreni coesivi soffici possono richiedere tempi anche molto lunghi in funzione delle condizioni stratigrafiche e geotecniche.

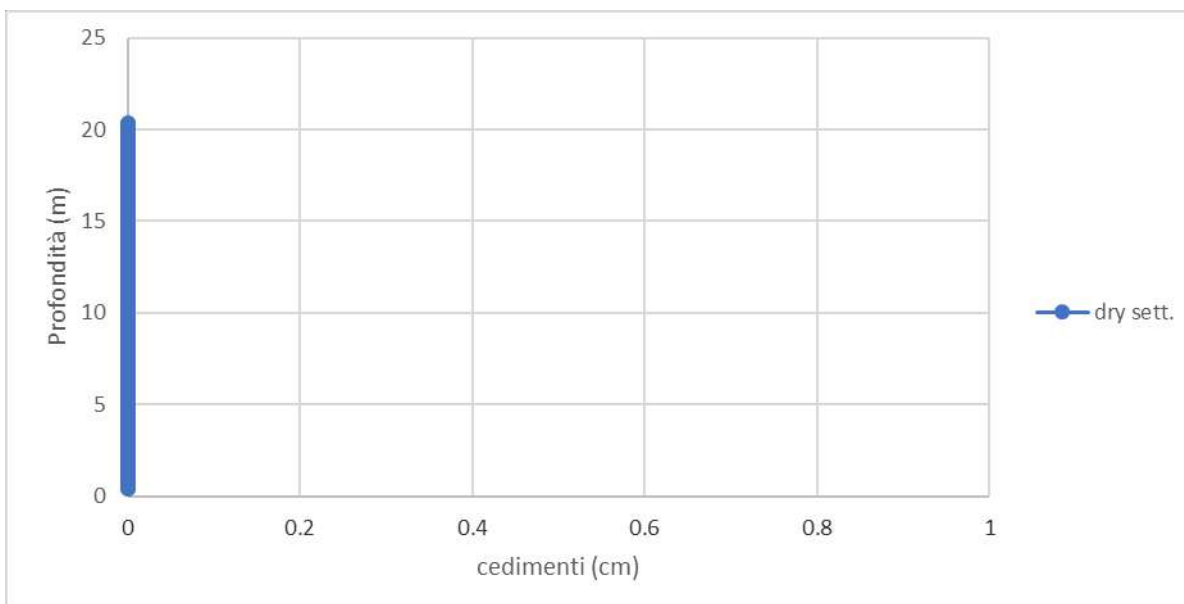
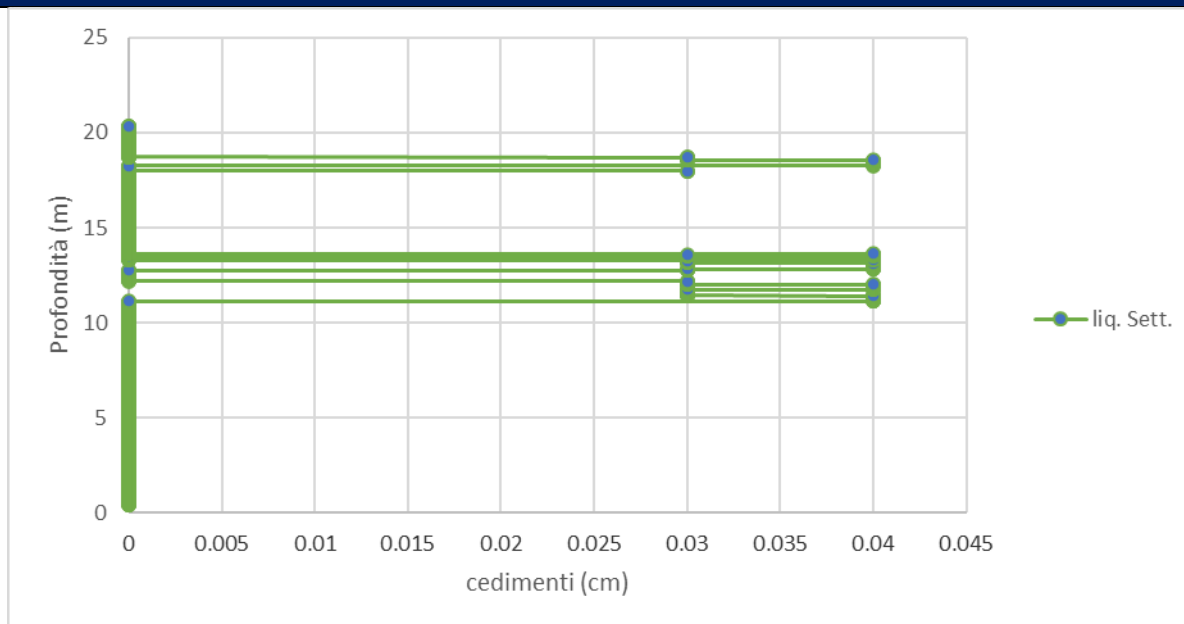
Il calcolo dei cedimenti post sismici in terreni incoerenti in condizioni sature e insature, eseguiti per le verticali CPTU1 e CPTU2, hanno evidenziato quanto segue:

<b>CPTU1</b>	
<b>CEDIMENTO IN TERRENI INCOERENTI SATURI – (Liq. Seattle)</b>	<b>7.93 cm</b>
<b>CEDIMENTO IN TERRENI INCOERENTI INSATURI – (Dry. Seattle)</b>	<b>0.0 cm</b>

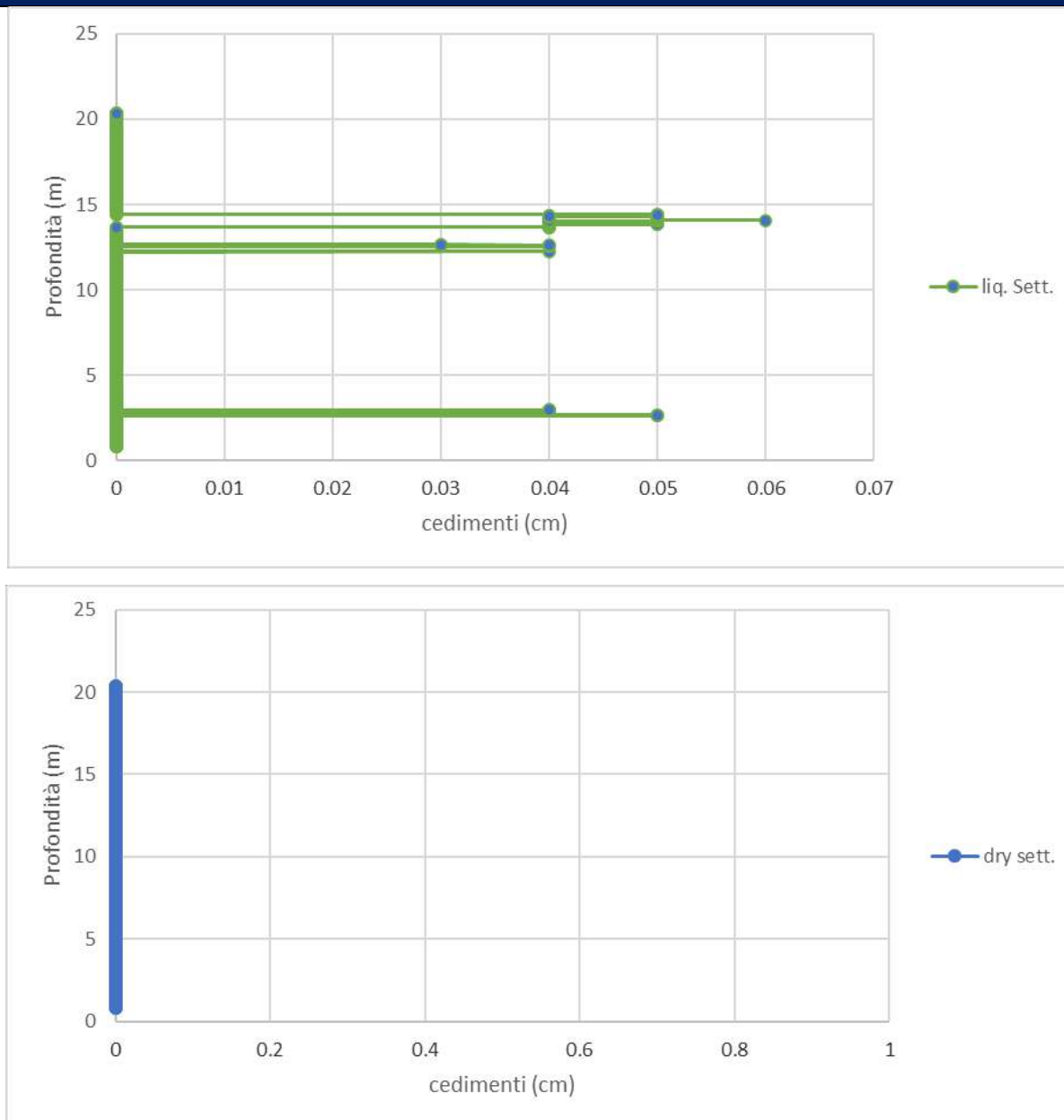
<b>CPTU2</b>	
<b>CEDIMENTO IN TERRENI INCOERENTI SATURI – (Liq. Seattle)</b>	<b>4.2 cm</b>
<b>CEDIMENTO IN TERRENI INCOERENTI INSATURI – (Dry. Seattle)</b>	<b>0.0 cm</b>

Si riportano di seguito i valori calcolati dei cedimenti post sismici in terreni incoerenti sia in saturi (Liq. settlement) che insaturi (Dry settlement) per le verticali eseguite.

CPTU1



## CPTU2



**Fig.4.6 –Cedimenti post sismici in terreni incoerenti saturi (Liquef. Settlement) e in terreni incoerenti insaturi (Dry settlement) eseguiti per le prove CPTU1 e CPTU2.**



## 5 MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO

### 5.1 Modello geotecnico del sottosuolo

Il modello geotecnico è finalizzato a fornire tutti i dati geotecnici necessari l'intervento in oggetto. Sulla base dei dati emersi dalle elaborazioni geotecniche e litostratigrafiche delle indagini geotecniche eseguite in sito e in relazione all'intervento in progetto, si possono riassumere il seguente modello geotecnico schematico del terreno investigato:

#### Parametri di resistenza e deformabilità:

Modello geotecnico medio										
	Profondità	Deposito	$\gamma_{\text{NAT}} / \gamma_{\text{SAT}}$	$c'$	$C_u$	$D_r$	$\phi'$	$E_s$	$M$	$D_w$
A	0.0 – 1.0	Argilla limosa sovra consolidata	18.5/21.5	8.0	80.0	/	25	11200	7000	
B	1.0 – 7.95	Argilla limosa a media consistenza	18.0/21.0	5.5	55.0	/	23	7700	5000	-1.8
C	7.95 – 10.97	Argilla limosa a media scarsa consistenza	18.0/21.0	4.5	45.0	/	22	6300	4000	
D	10.97 – 13.66	Sabbia limosa sciolta	18.0/21.0	/	/	30	29	5000	/	
E	13.66 – 20.0	Argilla limosa a elevata consistenza	18.5/21.5	8.0	80.0	/	25	11200	7000	
		Descrizione litologica	Peso di volume naturale e saturo	Coesione efficace	Coesione non drenata	Densità relativa	Angolo d'attrito efficace di picco	Modulo di Young	Modulo edometrico	Soggiacenza
		M da p.c.	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(%)	(°)	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(m da p.c.)

## 6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Nel mese di giugno 2021 è stato eseguito il presente elaborato al fine di verificare le condizioni di edificabilità e di pericolosità sismica dell'area.

La caratterizzazione sismica del sito è stata condotta sulla base di indagini geofisiche di tipo MASW e HVSR eseguita nel sito in studio (§ 4.2), dall'elaborazione congiunta di tali prove, è stato possibile determinare che la velocità media delle onde di taglio  $V_{s30} = 213 \text{ m/s}$  per lo spessore di copertura considerato, pari a **134.00 m**.

Sulla base delle NTC 2018, e tenendo conto dell'indagine sismica sopraccitata si può classificare il terreno di fondazione in oggetto come appartenente alla **categoria C**, corrispondente a: DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA MEDIAMENTE ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MEDIAMENTE CONSISTENTI CON PROFONDITÀ DEL SUBSTRATO SUPERIORI A 30 m, CARATTERIZZATI DA UN MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI VELOCITÀ EQUIVALENTE COMPRESI TRA **180 m/s** E **360 m/s**.

Per la definizione dell'azione sismica del sito è stata eseguito uno studio di risposta sismica locale al secondo livello di approfondimento (§ 4.3). Dall'analisi così eseguita si sono ottenuti i seguenti risultati:

RSL II LIVELLO DI APPROFONDIMENTO		
ag	F.A.	$A_{max}$
0.158g	1.70	<b>0.269g</b>

Considerando tale PGA (calcolata dal secondo livello di approfondimento della risposta sismica locale DGR 476/2021), è stata eseguita la verifica della suscettibilità al fenomeno della liquefazione sulla base delle prove penetrometriche eseguite in sito. Per tali verifiche è stata considerata la soggiacenza della falda freatica in condizioni sismiche alla profondità **Dw=-1.00 m da p.c.** e una **magnitudo di riferimento** pari a **M=6.14**.

Dall'analisi della suscettibilità nei confronti del fenomeno della liquefazione così eseguita si è ottenuto un valore di LPI corrispondente a un **rischio di liquefazione moderato per la prova CPTU1 e basso per la CPTU2** (§ 5.3).

Dato un indice di liquefazione  $IL > 2$  (per la prova CPTU1), è stato necessario eseguire il terzo livello di approfondimento (come richiesto dal PSC del Comune di Soliera), ottenendo valori di PGA inferiori rispetto al secondo livello §4.3. Pertanto risulta più cautelativo utilizzare i valori ottenuti dal II livello di approfondimento. Sono stati inoltre calcolati i cedimenti post sismici, come richiesto dal PSC del Comune di Soliera §4.6.

**In fase esecutiva sarà necessario realizzare ulteriori indagini geotecniche specifiche più approfondite, al fine di caratterizzare al meglio il volume significativo e verificare le aree soggette a liquefazione.**

A disposizione per ulteriori chiarimenti, cogliamo l'occasione per porgere cordiali saluti.

Modena, 16 giugno 2020

**Dott. Geol. Pier Luigi Dallari**

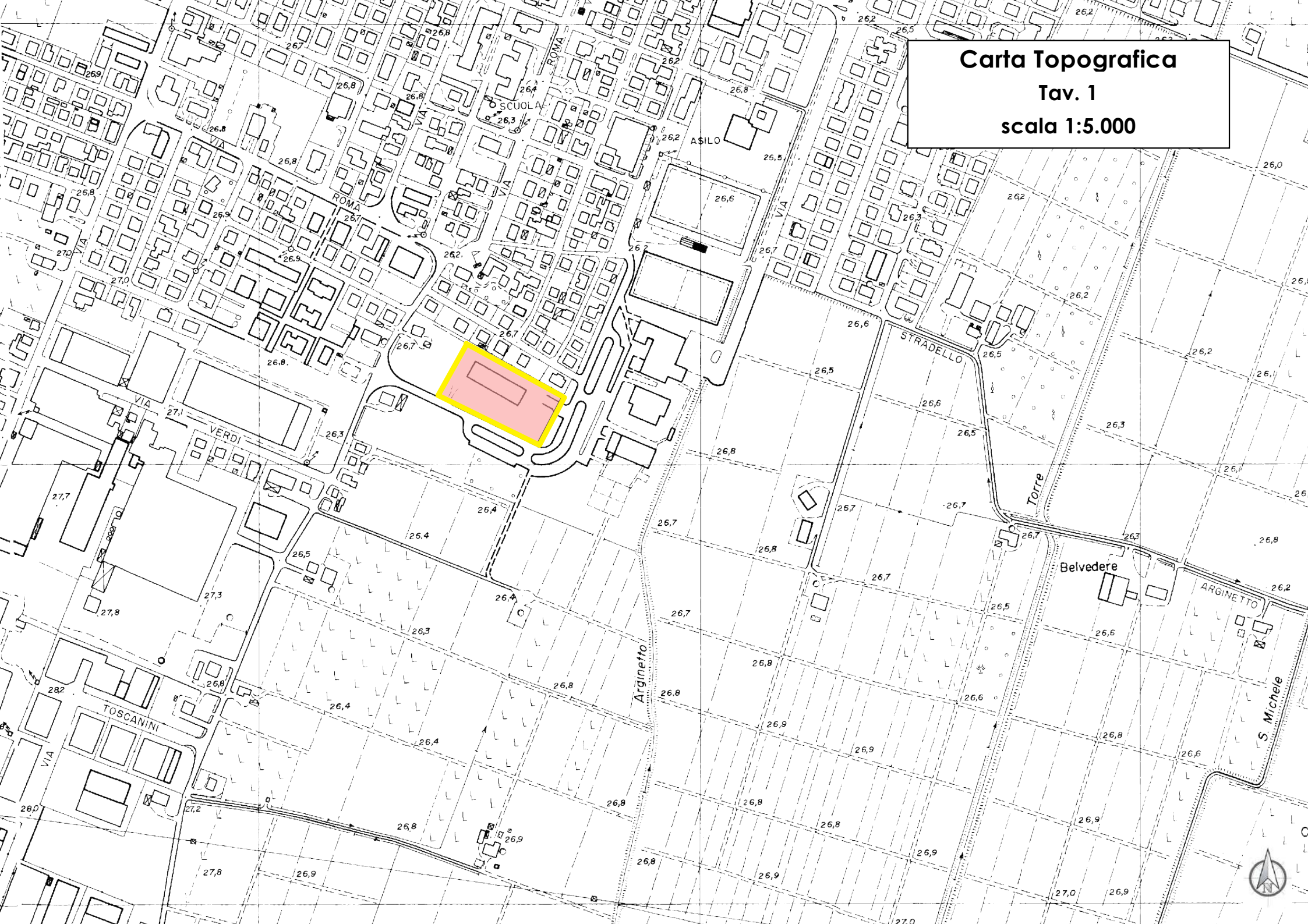


# TAVOLE

# Carta Topografica

Tav. 1

scala 1:5.000



# Ripresa Satellitare

Tav. 2

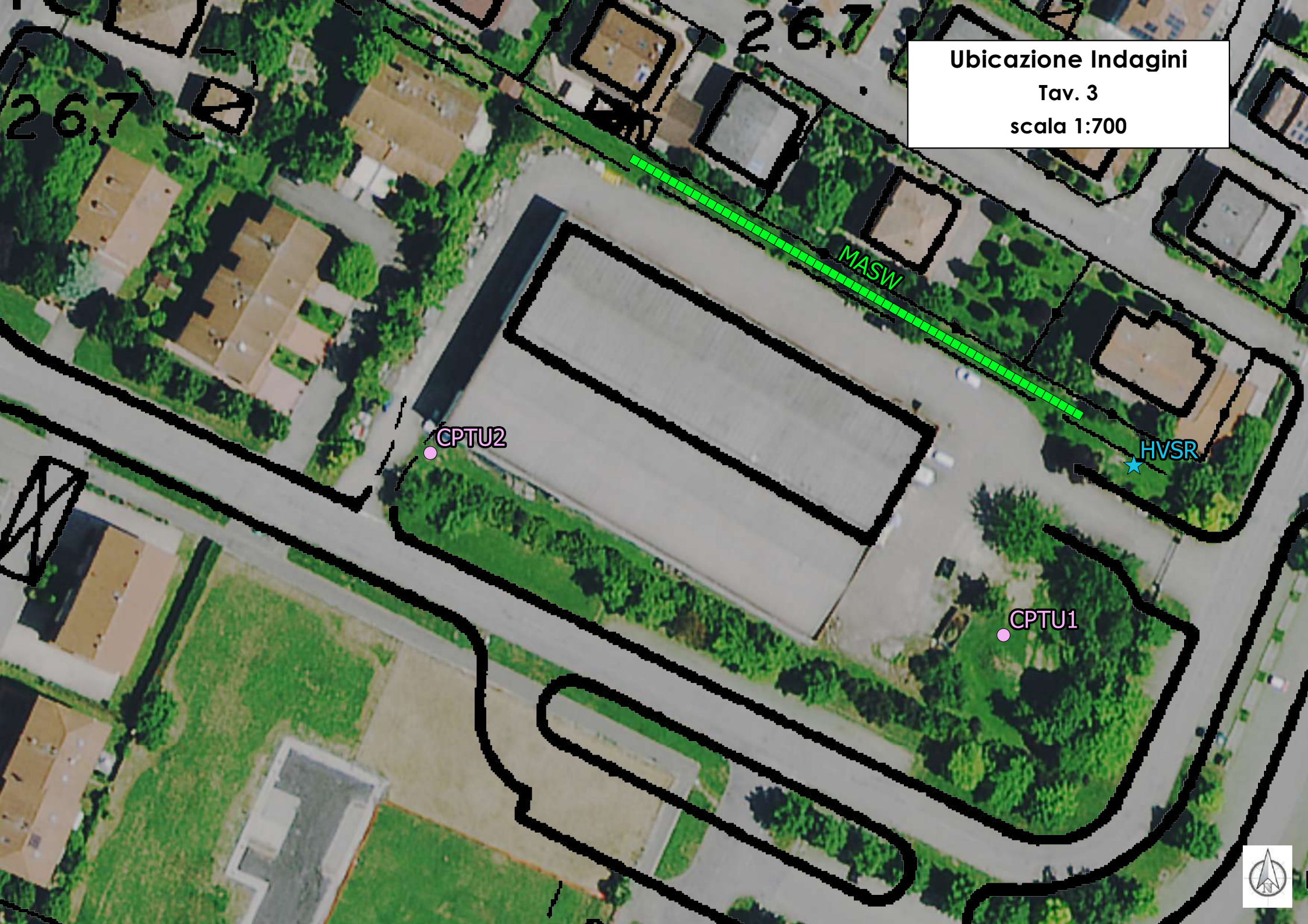
scala 1:5.000



Ubicazione Indagini

Tav. 3

scala 1:700



MASW

CPTU2

HVSR

CPTU1

26,7

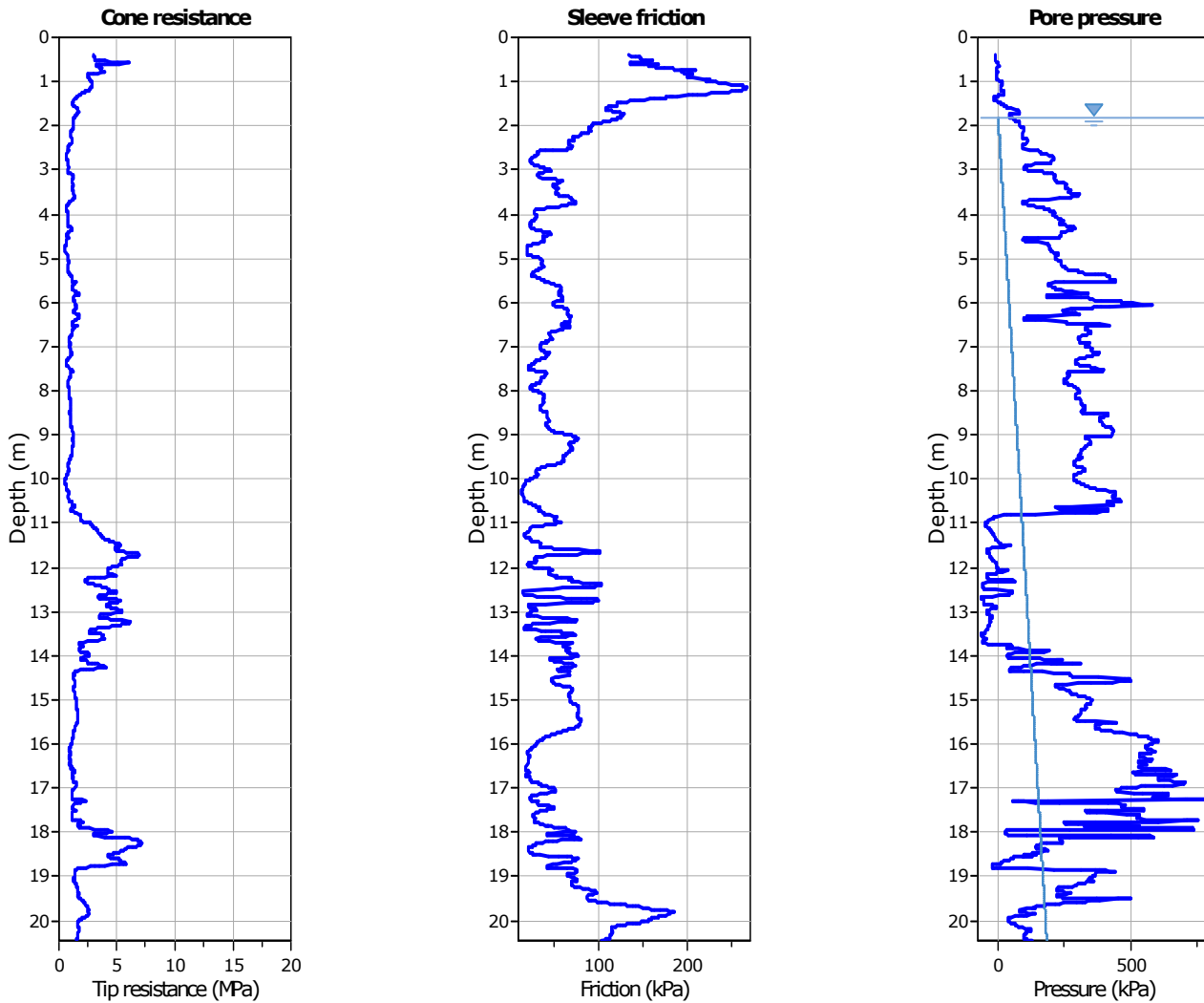
26,7



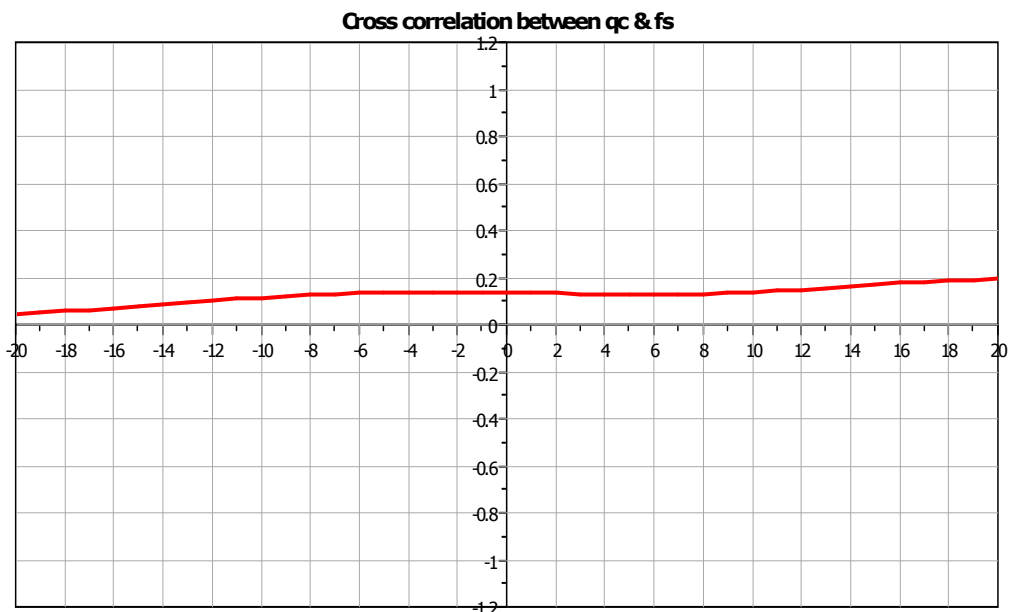
# ALLEGATO 1

## PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPTE/U

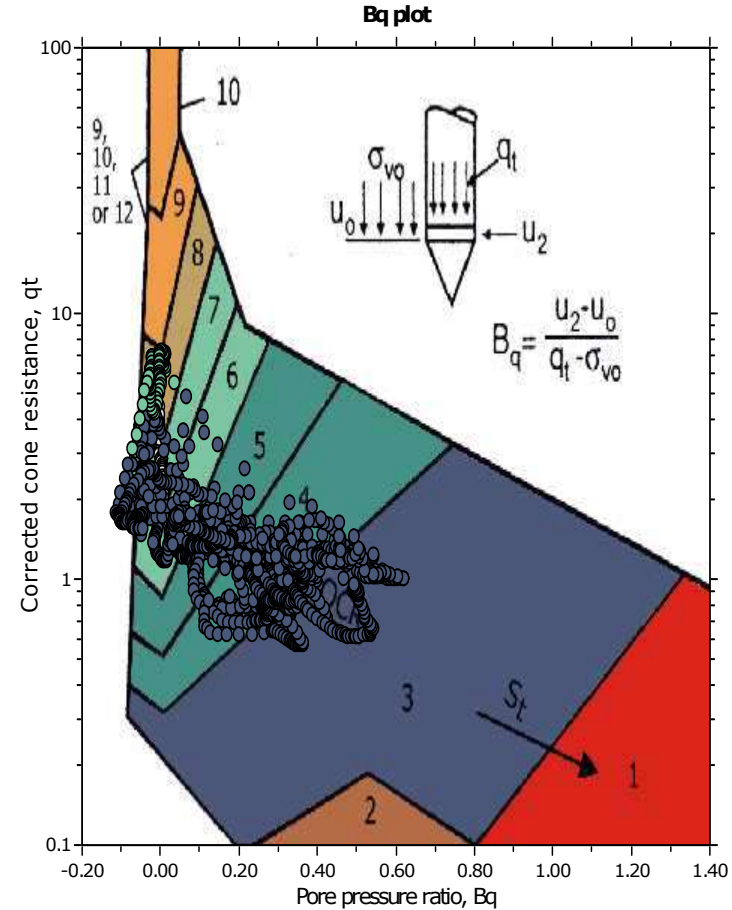
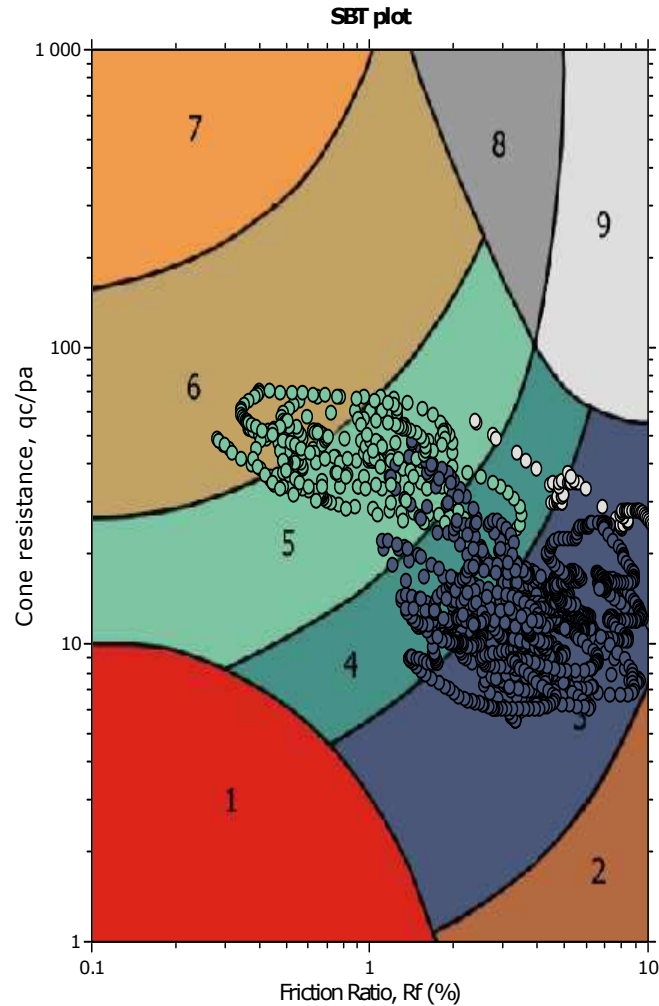




The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw  $q_c$  and  $f_s$  values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).



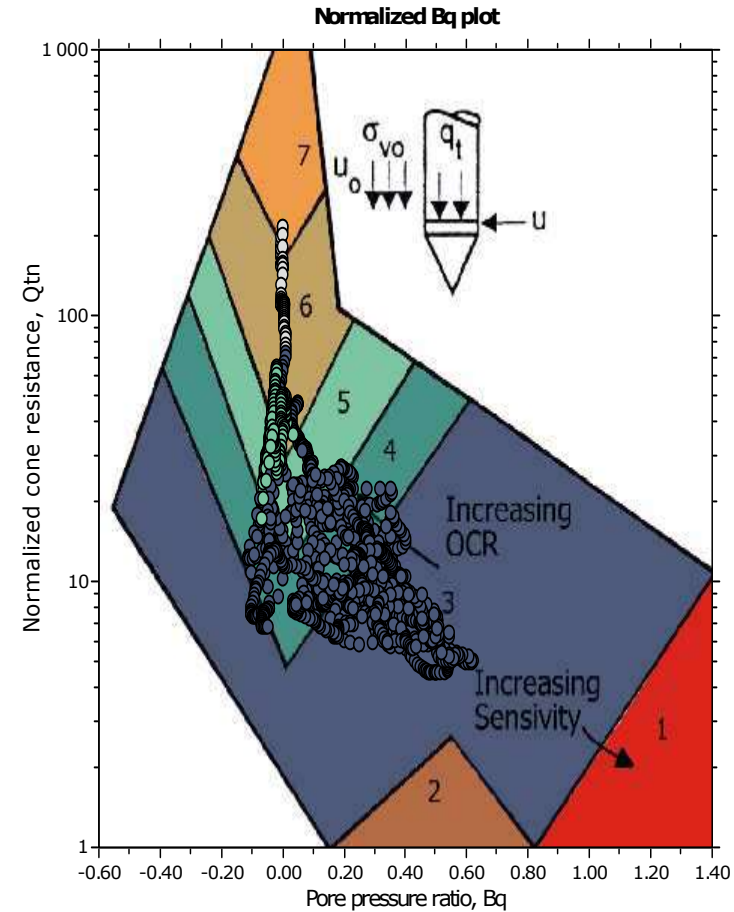
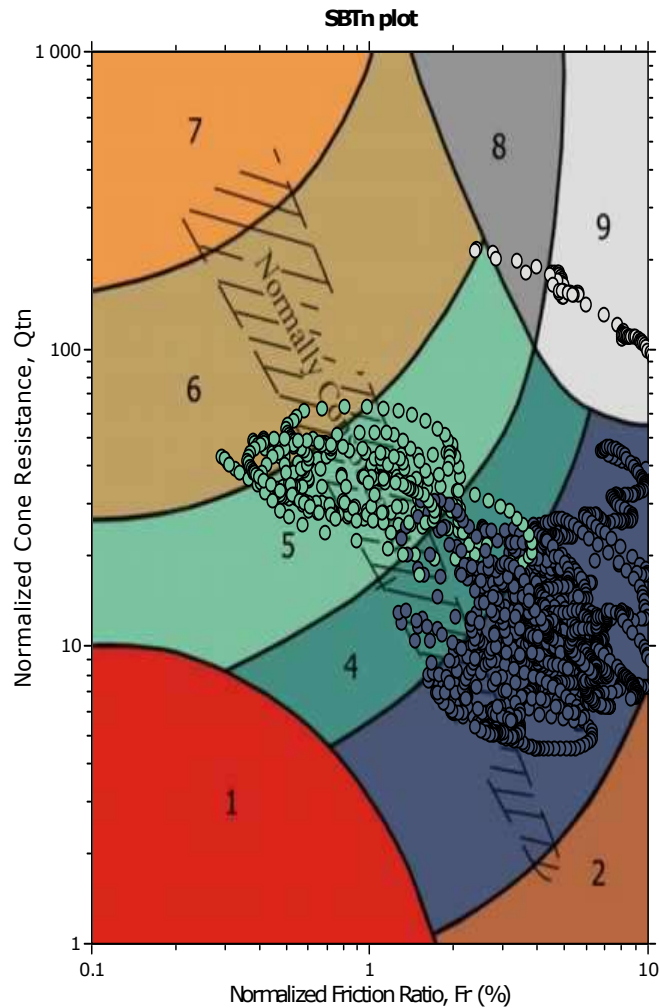
SBT - Bq plots



SBT legend

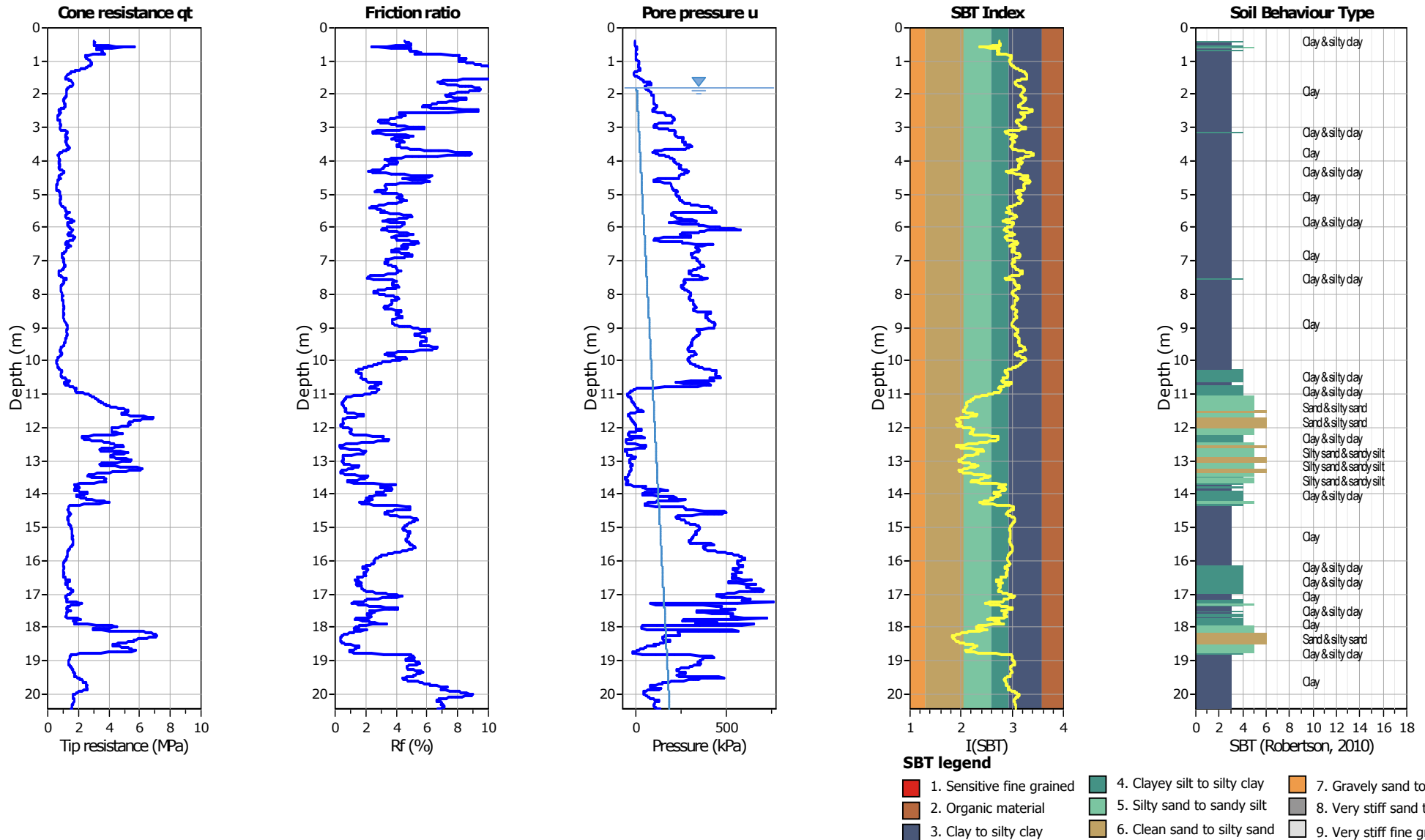
- |                           |                              |                                   |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand           |
| 2. Organic material       | 5. Silty sand to sandy silt  | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty clay     | 6. Clean sand to silty sand  | 9. Very stiff fine grained        |

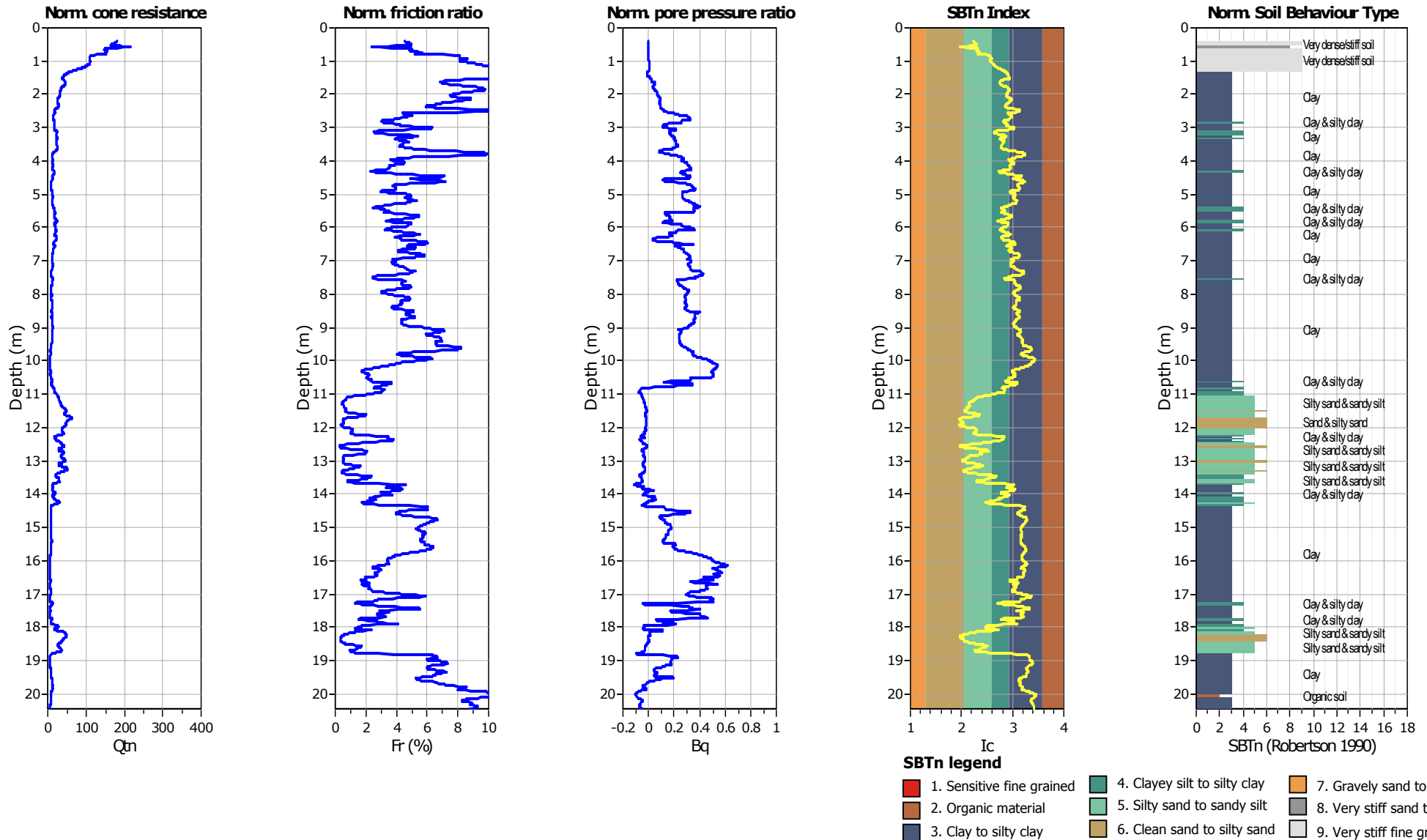
SBT - Bq plots (normalized)

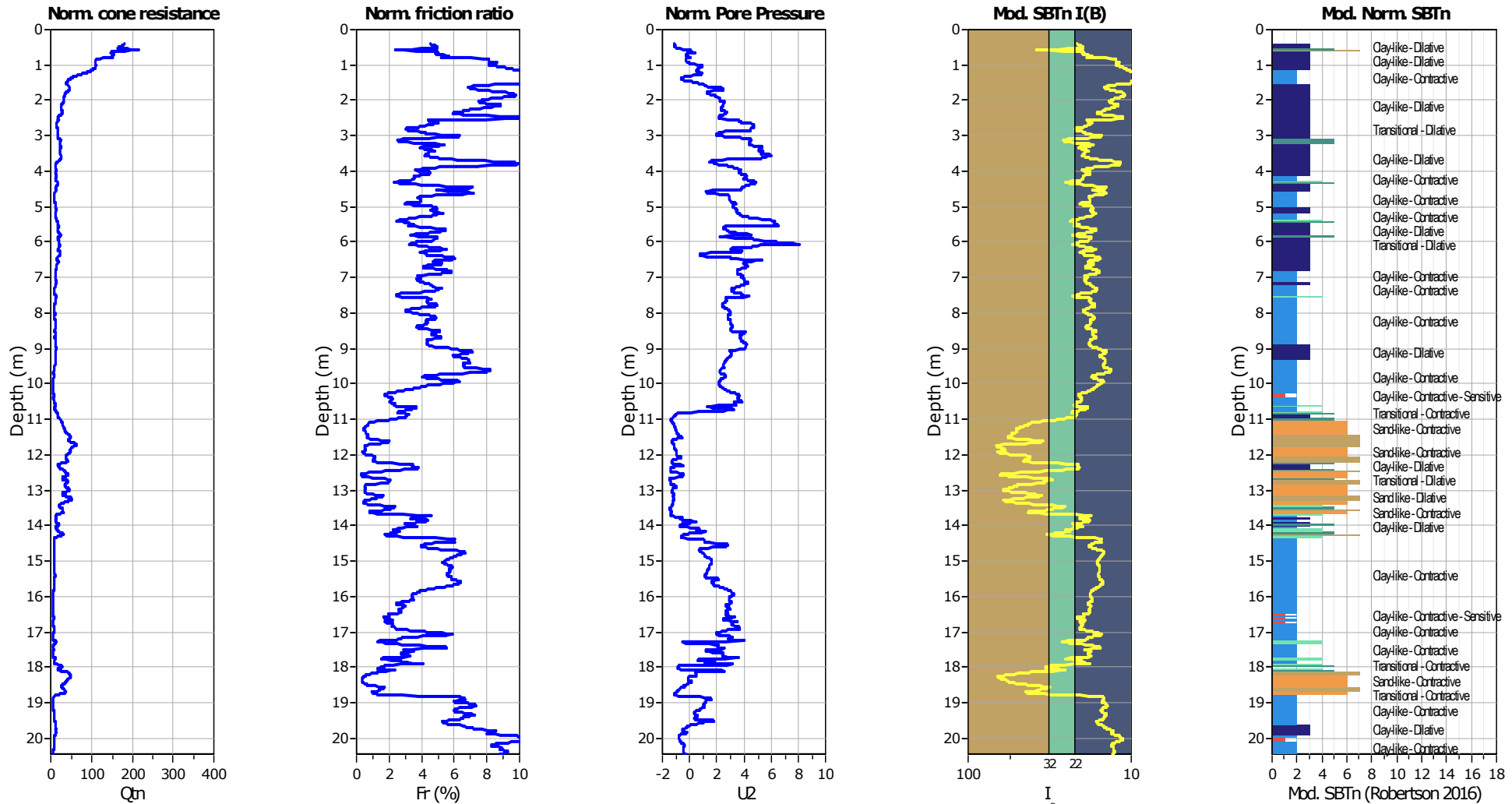


SBTn legend

- |  |   |   |
|--|---|---|
| <span style="color: red;">■</span> 1. Sensitive fine grained | <span style="color: teal;">■</span> 4. Clayey silt to silty clay      | <span style="color: orange;">■</span> 7. Gravely sand to sand         |
| <span style="color: brown;">■</span> 2. Organic material     | <span style="color: lightgreen;">■</span> 5. Silty sand to sandy silt | <span style="color: grey;">■</span> 8. Very stiff sand to clayey sand |
| <span style="color: blue;">■</span> 3. Clay to silty clay    | <span style="color: tan;">■</span> 6. Clean sand to silty sand        | <span style="color: lightgrey;">■</span> 9. Very stiff fine grained   |



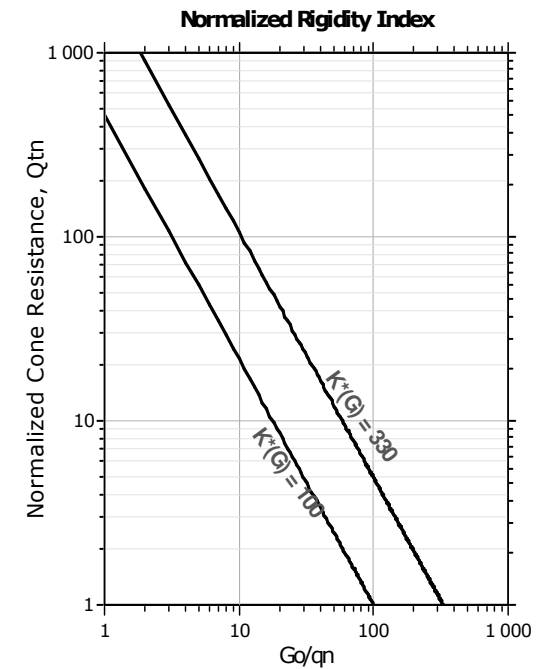
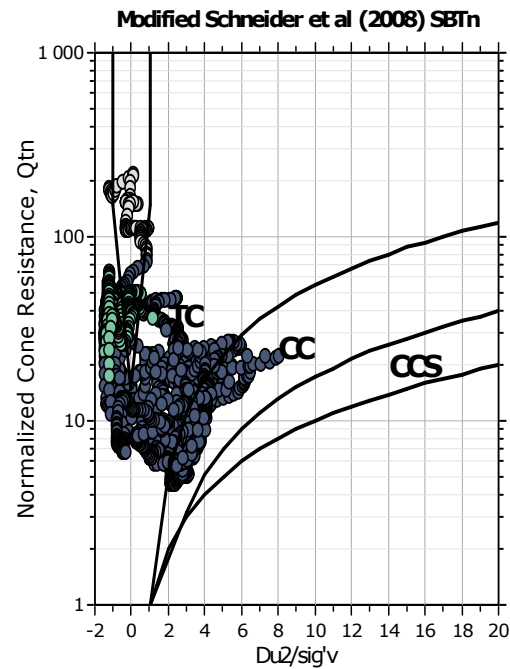
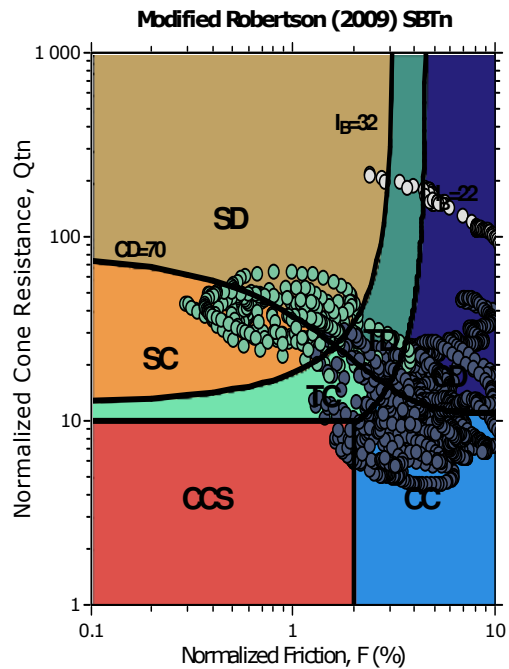




**Mod. SBTn legend**

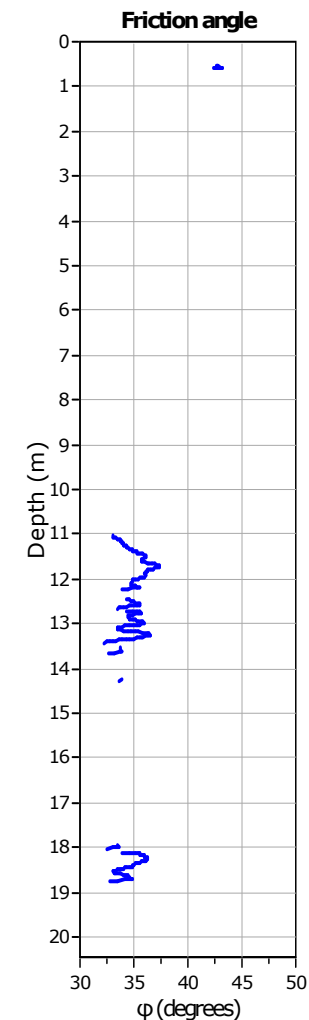
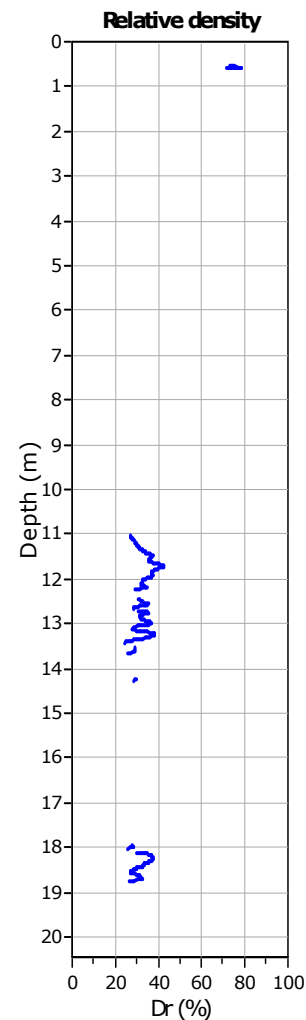
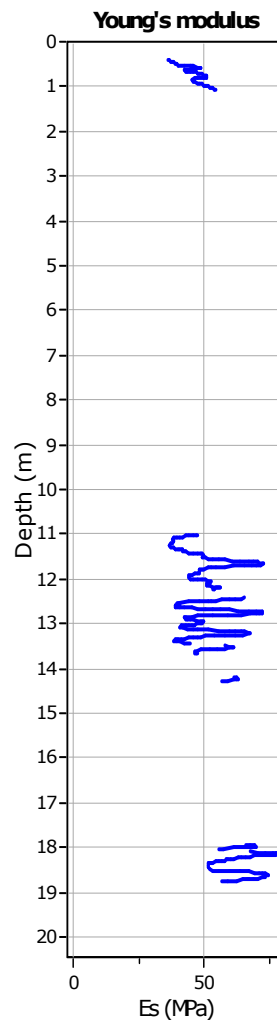
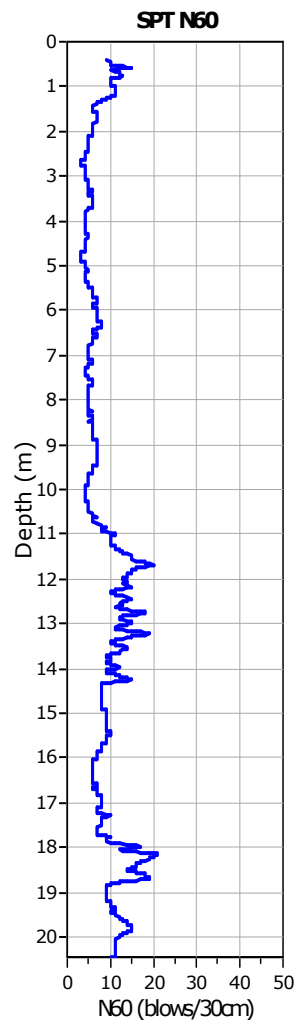
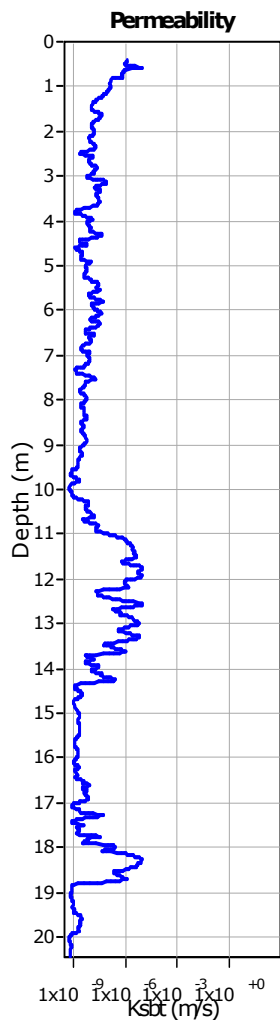
- |   |                                   |                             |
|---|-----------------------------------|-----------------------------|
| 1. CCS: ClayLike - Contractive, Sensitive | 4. TC: Transitional - Contractive | 7. SD: Sand-like - Dilative |
| 2. CC: Clay-like - Contractive            | 5. TD: Transitional - Dilative    |                             |
| 3. CD: Clay-Like: Dilative                | 6. SC: Sand-like - Contractive    |                             |

Updated SBTn plots



- CCS: Clay-like - Contractive - Sensitive
- CC: Clay-like - Contractive
- CD: Clay-like - Dilative
- TC: Transitional - Contractive
- TD: Transitional - Dilative
- SC: Sand-like - Contractive
- SD: Sand-like - Dilative

$K^*(G) > 330$ : Soils with significant microstructure (e.g. age/cementation)



**Calculation parameters**

Permeability: Based on SBT<sub>n</sub>

SPT N<sub>60</sub>: Based on I<sub>c</sub> and q<sub>t</sub>

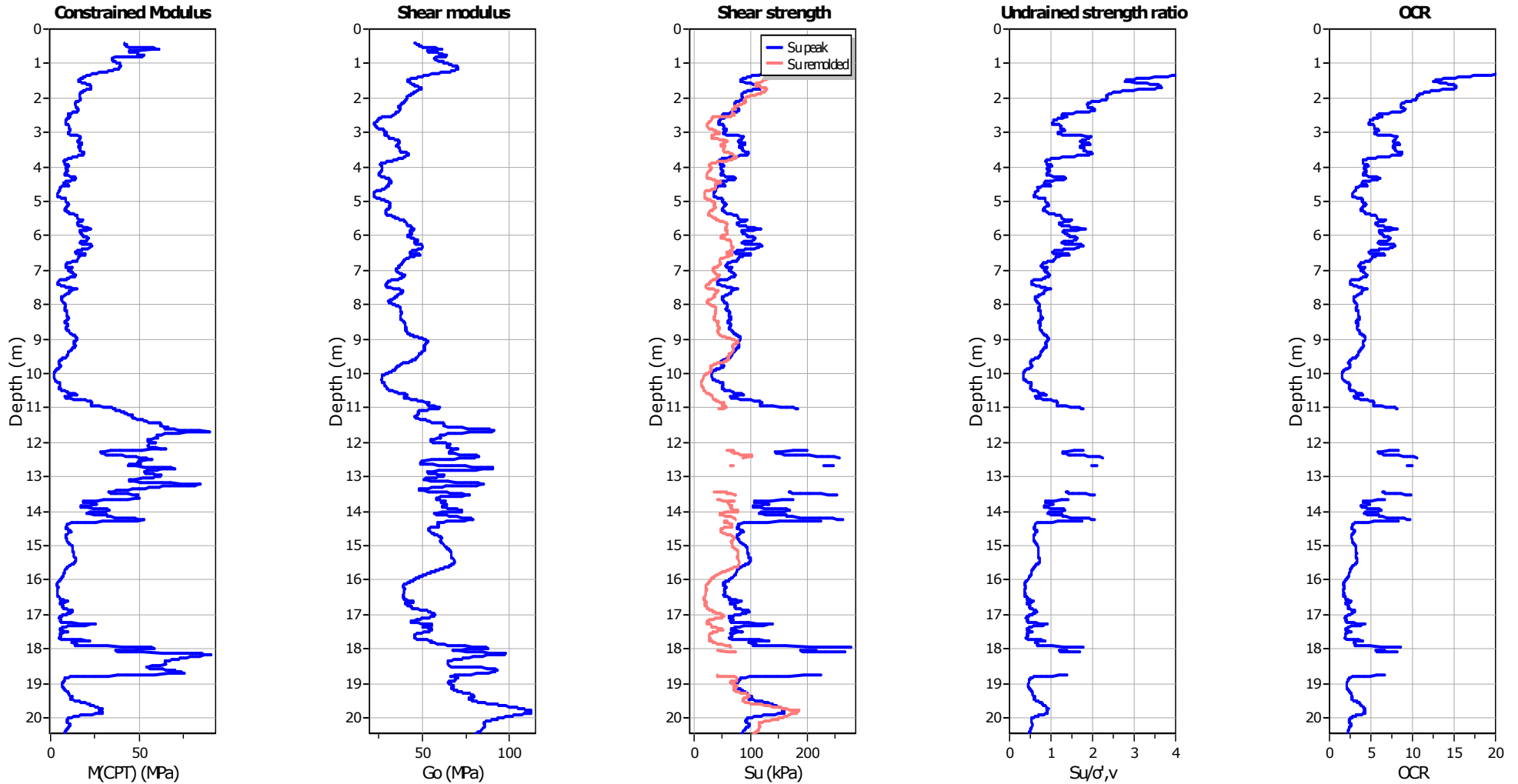
Young's modulus: Based on variable alpha using I<sub>c</sub> (Robertson, 2009)

Relative density constant, C<sub>Dr</sub>: 350.0

Phi: Based on Kulhavy & Mayne (1990)

● — User defined estimation data





**Calculation parameters**

Constrained modulus: Based on variable *alpha* using  $I_c$  and  $Q_{tn}$  (Robertson, 2009)

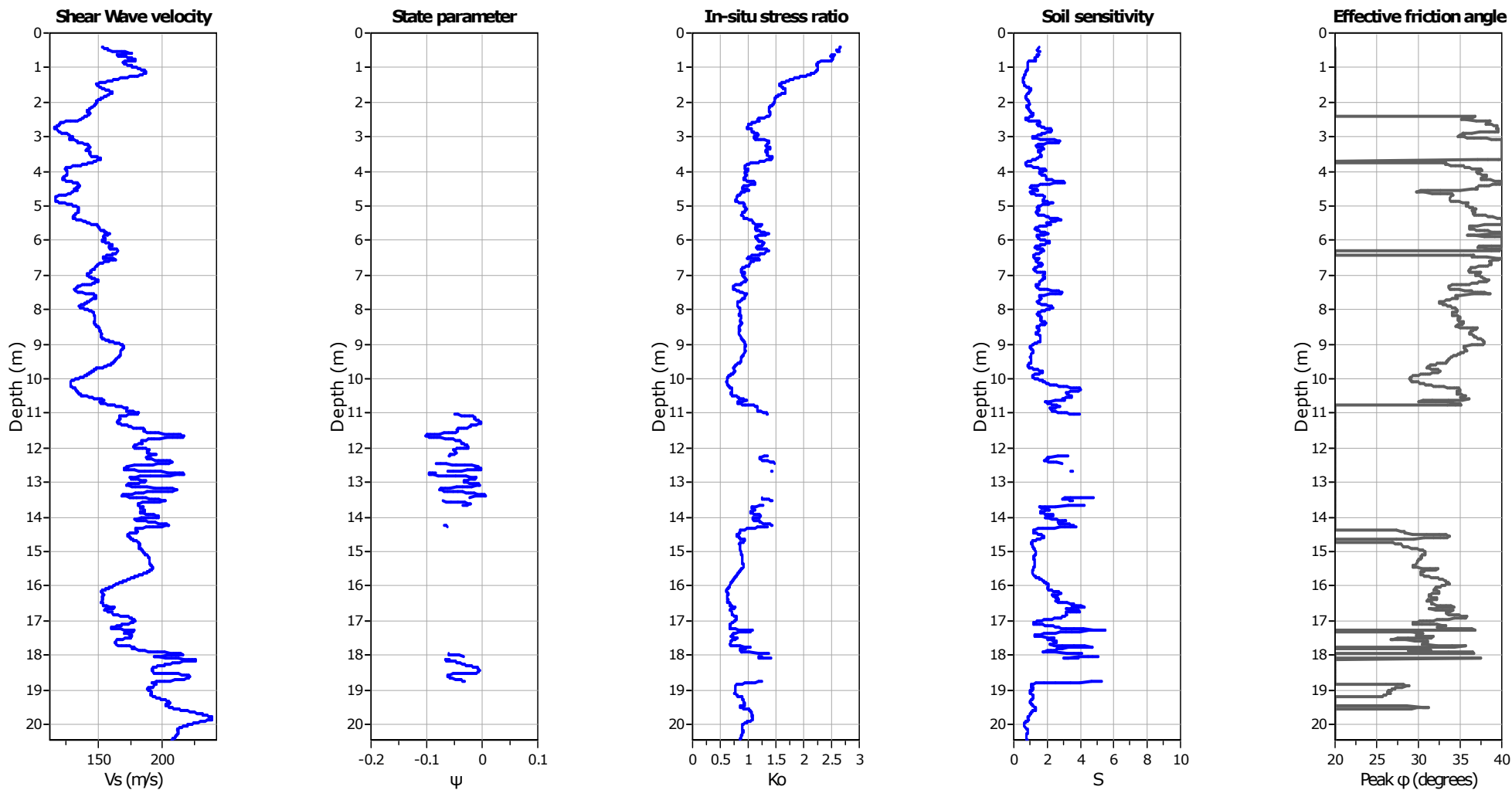
Go: Based on variable *alpha* using  $I_c$  (Robertson, 2009)

Undrained shear strength cone factor for clays,  $N_{kt}$ : 14

OCR factor for clays,  $N_{kt}$ : 0.33

● User defined estimation data

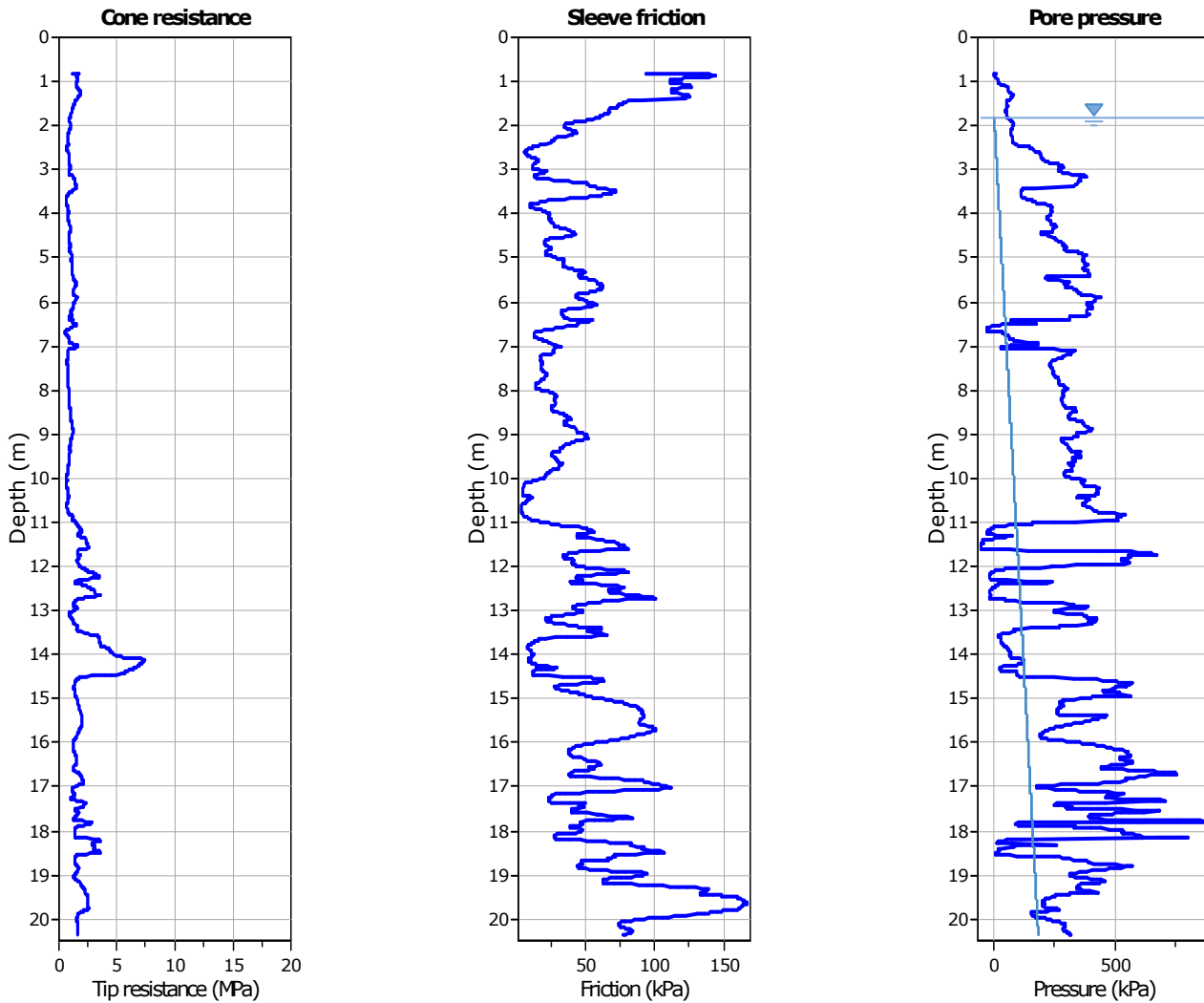
● Flat Dilatometer Test data



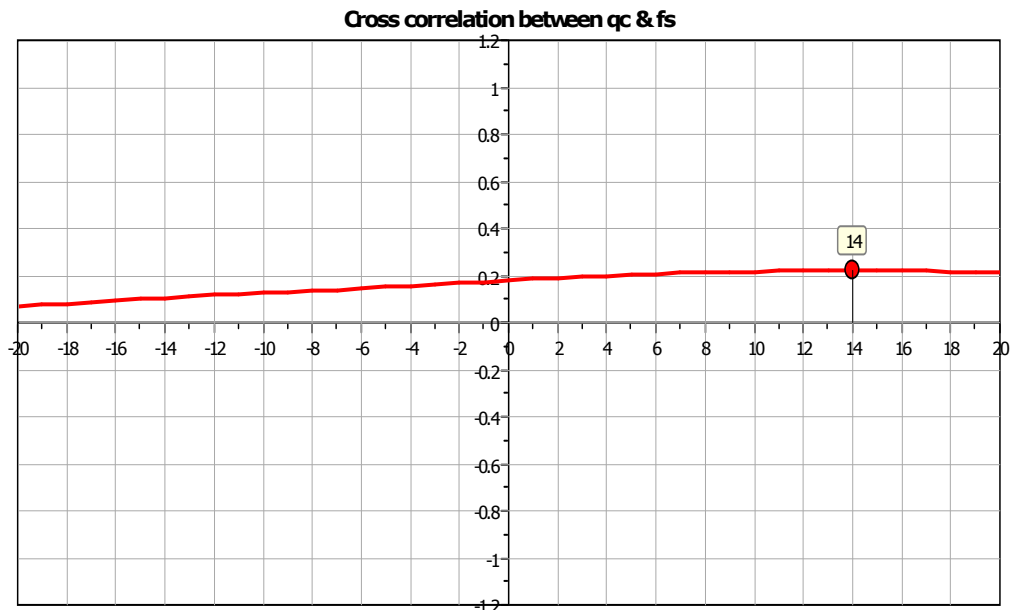
**Calculation parameters**

Soil Sensitivity factor,  $N_s$ : 7.00

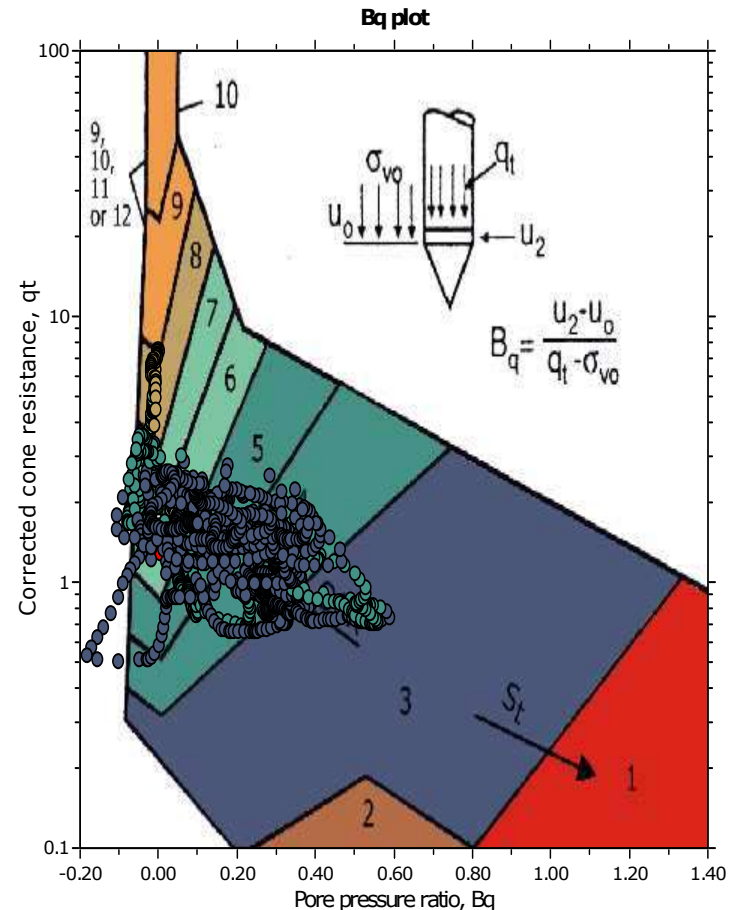
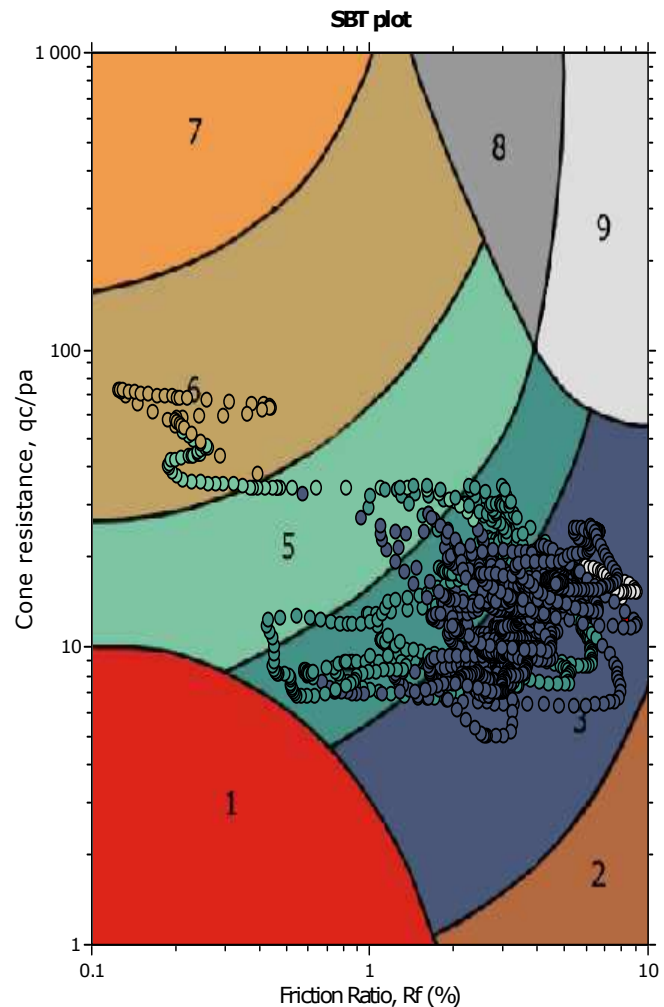
—●— User defined estimation data



The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).



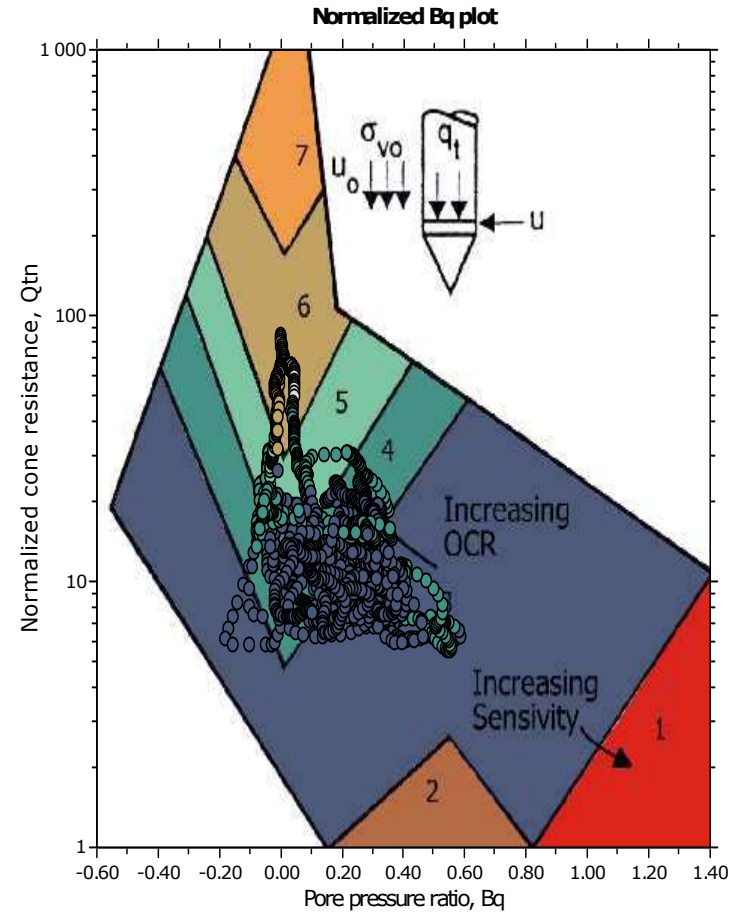
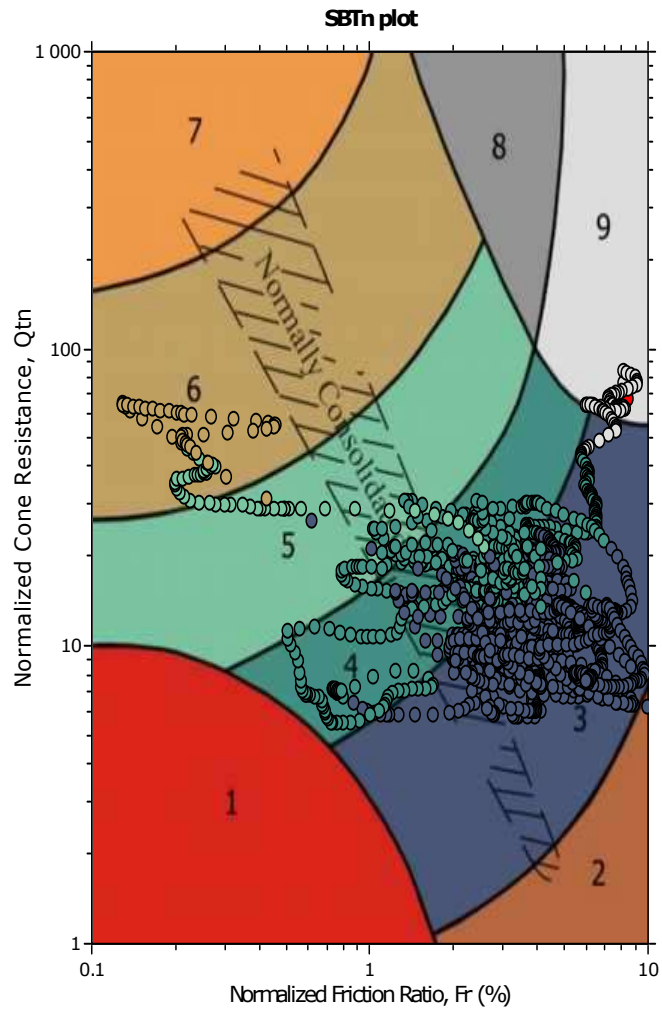
SBT - Bq plots



SBT legend

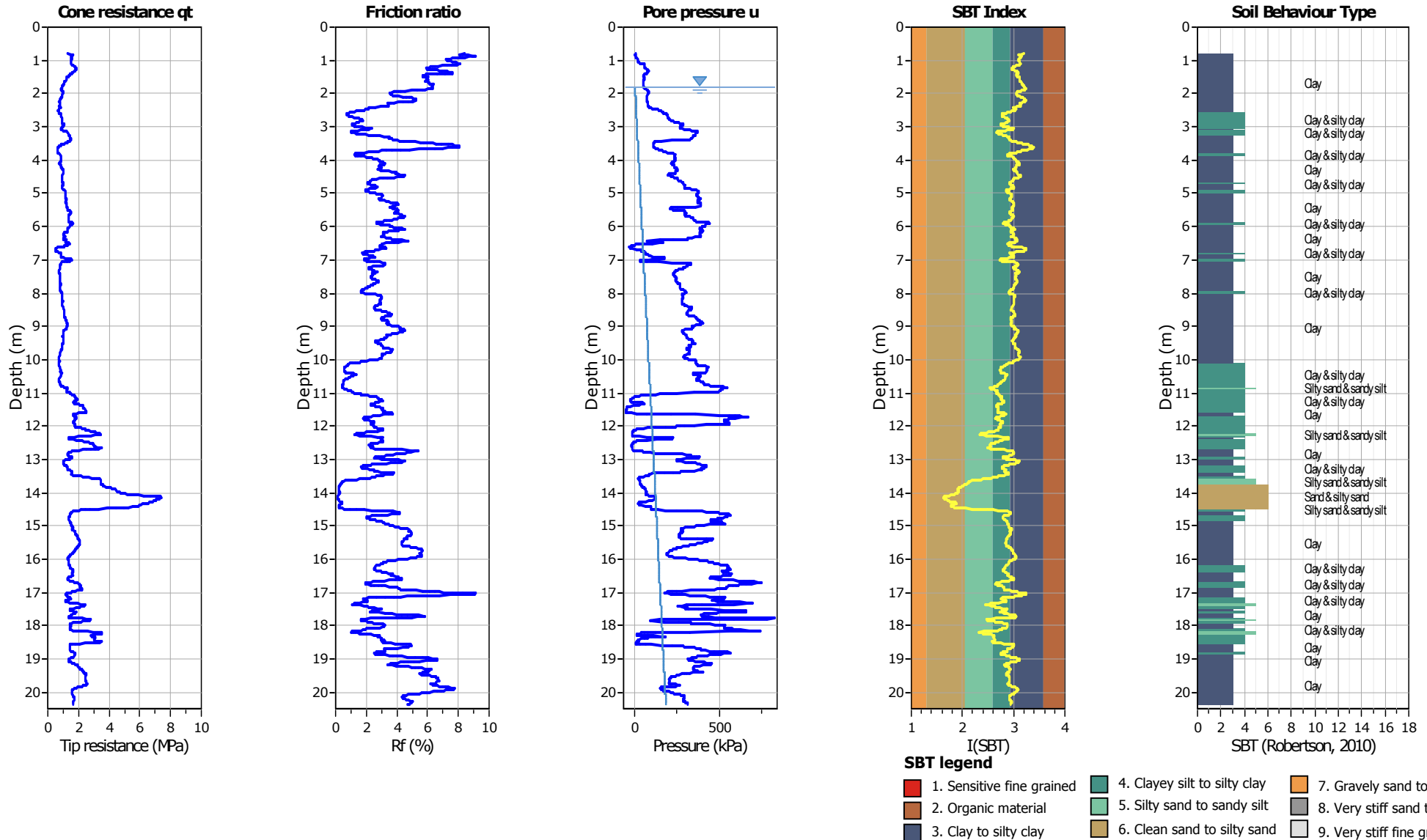
- |                           |                              |                                   |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand           |
| 2. Organic material       | 5. Silty sand to sandy silt  | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty clay     | 6. Clean sand to silty sand  | 9. Very stiff fine grained        |

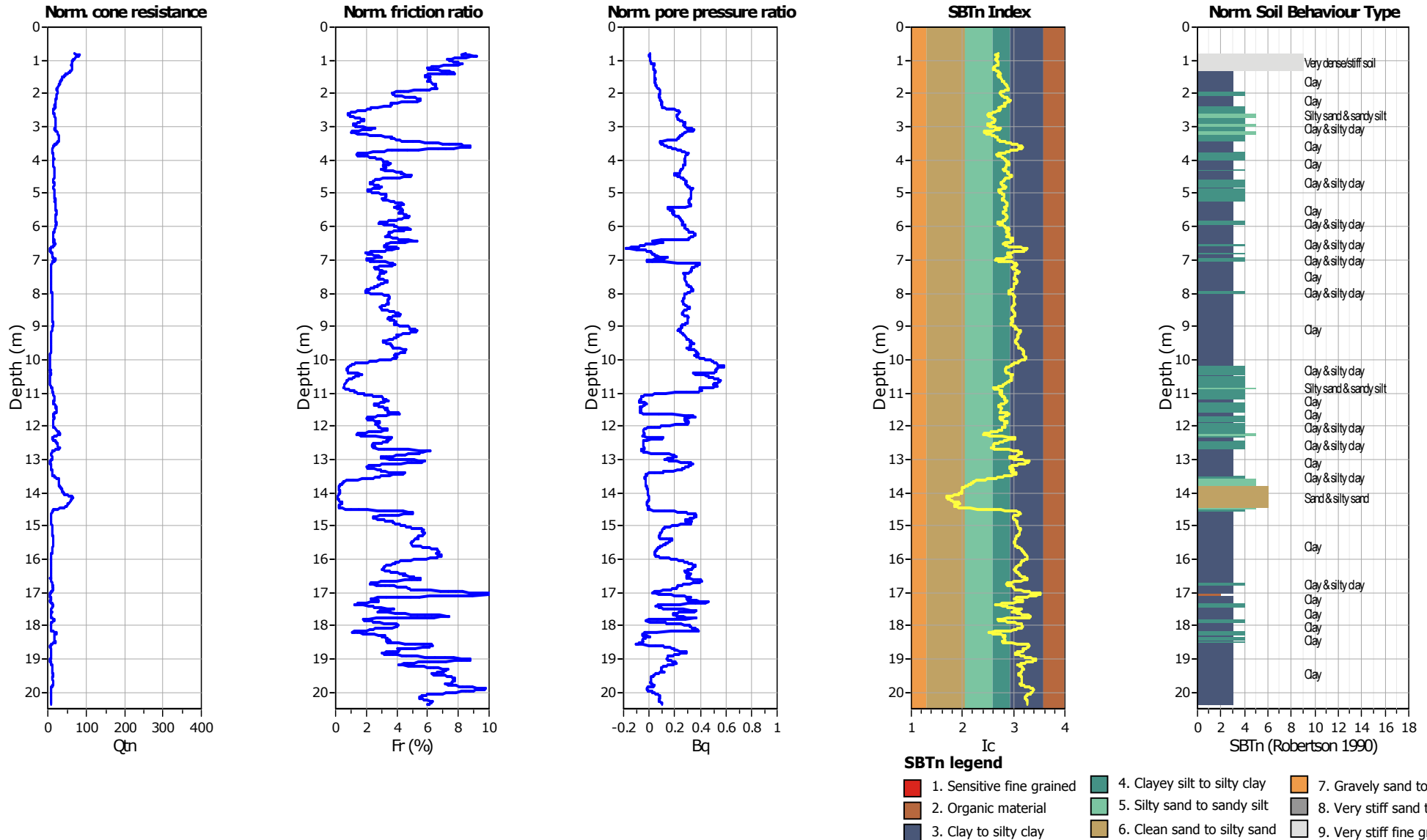
SBT - Bq plots (normalized)

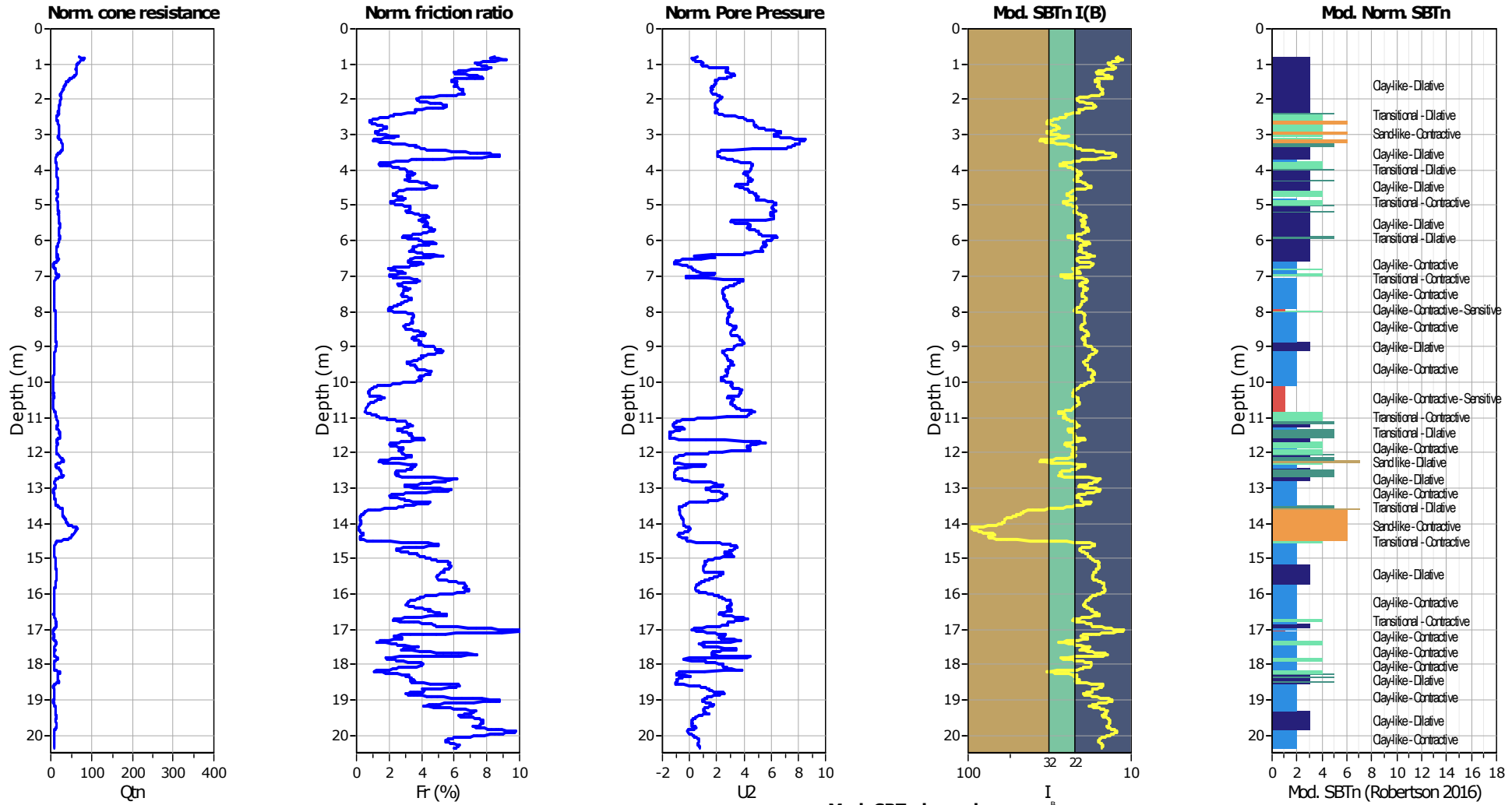


SBTn legend

- |  |   |   |
|--|---|---|
| <span style="color: red;">■</span> 1. Sensitive fine grained | <span style="color: teal;">■</span> 4. Clayey silt to silty clay      | <span style="color: orange;">■</span> 7. Gravely sand to sand         |
| <span style="color: brown;">■</span> 2. Organic material     | <span style="color: lightgreen;">■</span> 5. Silty sand to sandy silt | <span style="color: grey;">■</span> 8. Very stiff sand to clayey sand |
| <span style="color: blue;">■</span> 3. Clay to silty clay    | <span style="color: tan;">■</span> 6. Clean sand to silty sand        | <span style="color: lightgrey;">■</span> 9. Very stiff fine grained   |





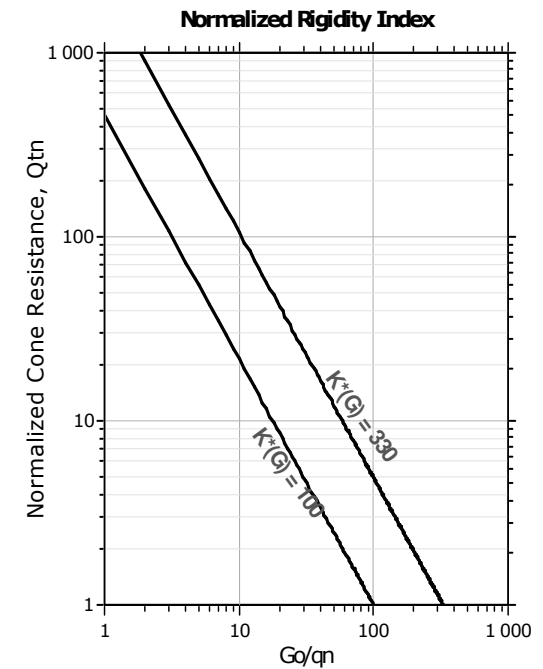
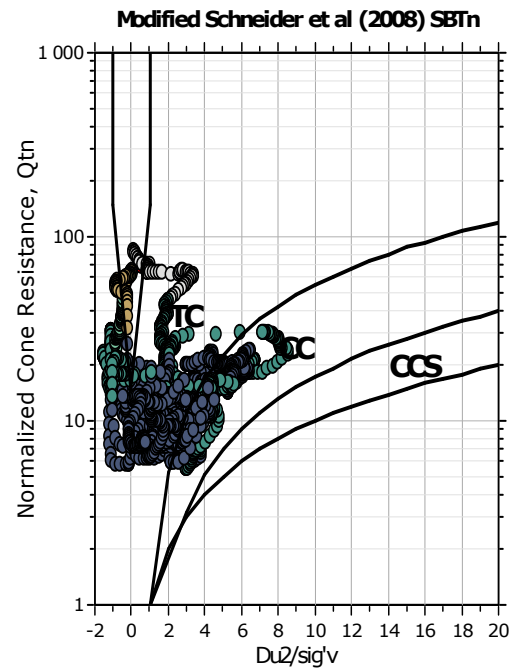
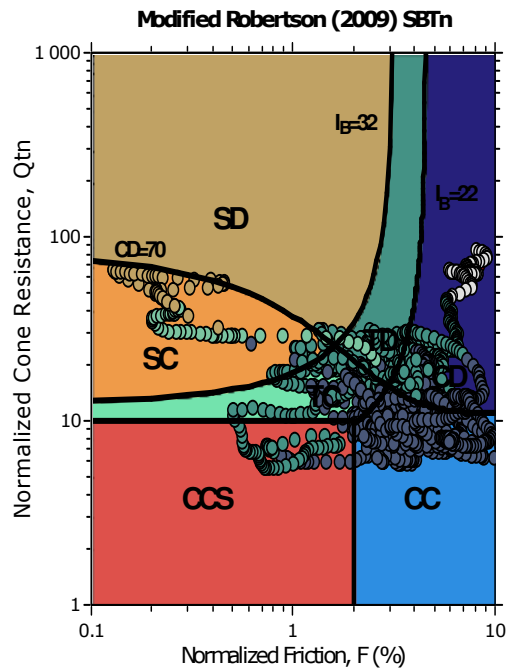


**Mod. SBTn legend**

- |  |  |   |
|--|--|---|
| <span style="color: red;">■</span> 1. CCS: ClayLike - Contractive, Sensitive | <span style="color: teal;">■</span> 4. TC: Transitional - Contractive    | <span style="color: orange;">■</span> 7. SD: Sand-like - Dilative |
| <span style="color: brown;">■</span> 2. CC: Clay-like - Contractive          | <span style="color: lightgreen;">■</span> 5. TD: Transitional - Dilative |   |
| <span style="color: darkblue;">■</span> 3. CD: Clay-Like: Dilative           | <span style="color: tan;">■</span> 6. SC: Sand-like - Contractive        |   |

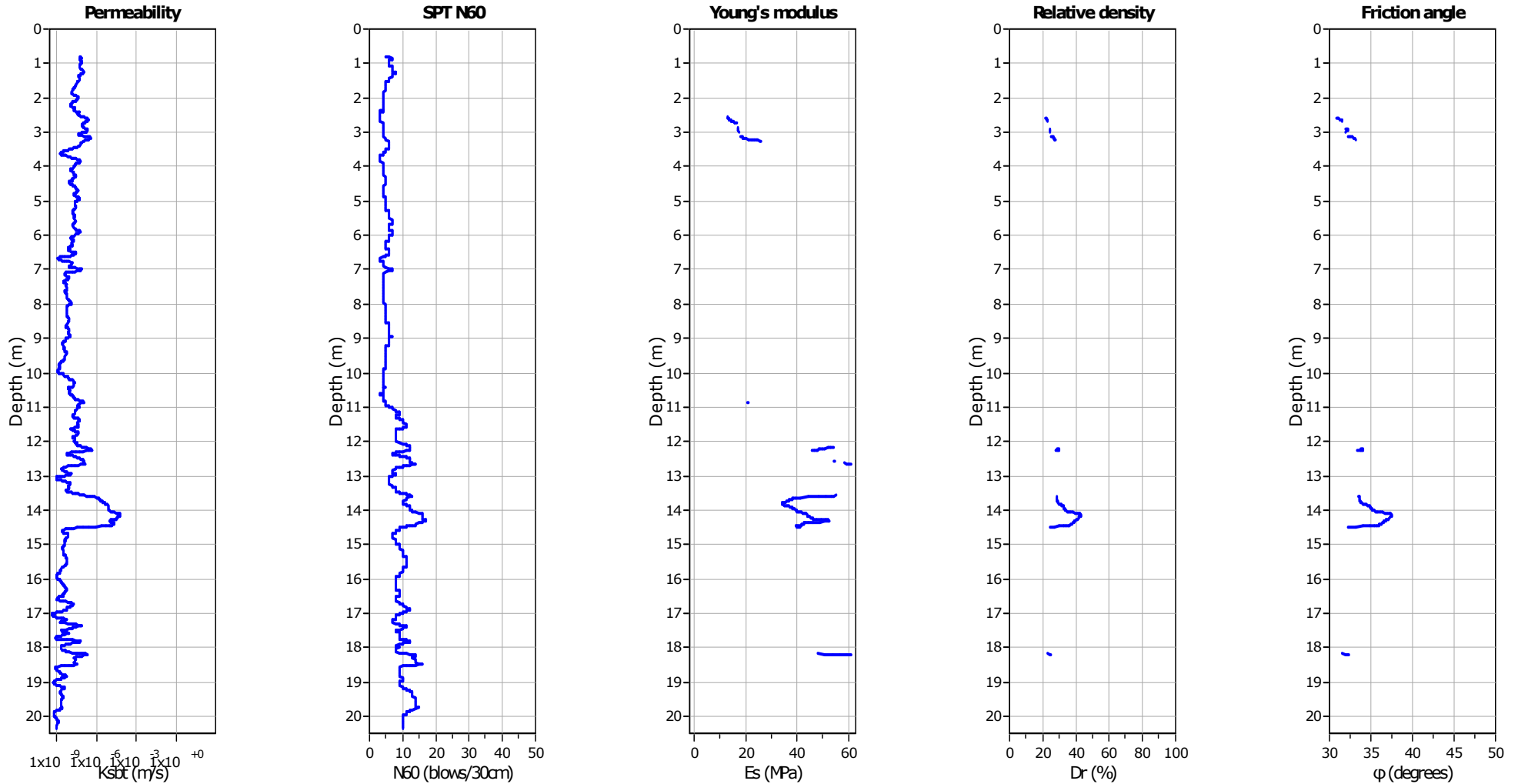


Updated SBTn plots



- CCS: Clay-like - Contractive - Sensitive
- CC: Clay-like - Contractive
- CD: Clay-like - Dilative
- TC: Transitional - Contractive
- TD: Transitional - Dilative
- SC: Sand-like - Contractive
- SD: Sand-like - Dilative

$K^*(G) > 330$ : Soils with significant microstructure (e.g. age/cementation)



**Calculation parameters**

Permeability: Based on SBT<sub>n</sub>

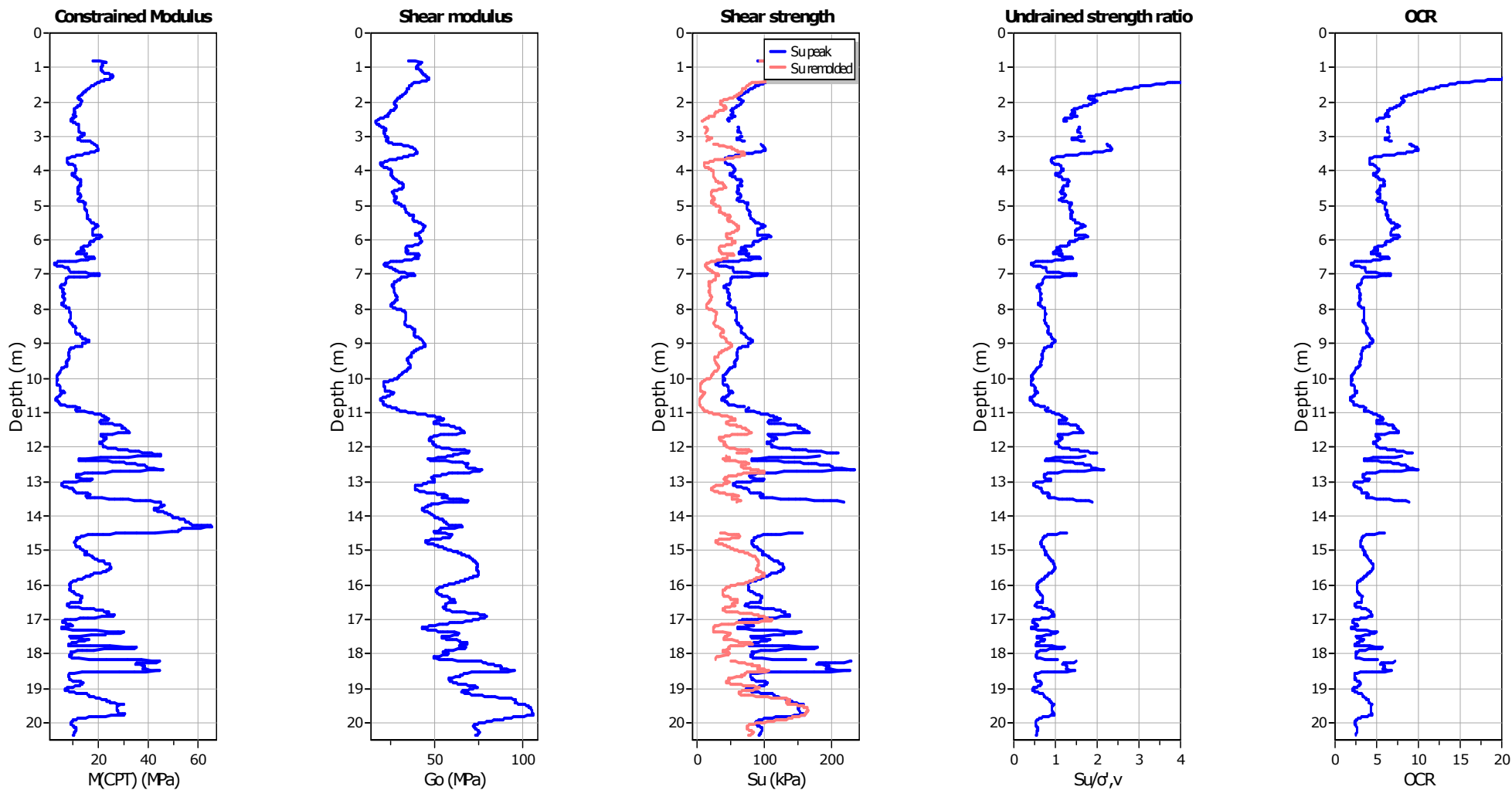
SPT N<sub>60</sub>: Based on I<sub>c</sub> and q<sub>t</sub>

Young's modulus: Based on variable alpha using I<sub>c</sub> (Robertson, 2009)

Relative density constant, C<sub>Dr</sub>: 350.0

Phi: Based on Kulhavy & Mayne (1990)

● — User defined estimation data



**Calculation parameters**

Constrained modulus: Based on variable *alpha* using  $I_c$  and  $Q_{tn}$  (Robertson, 2009)

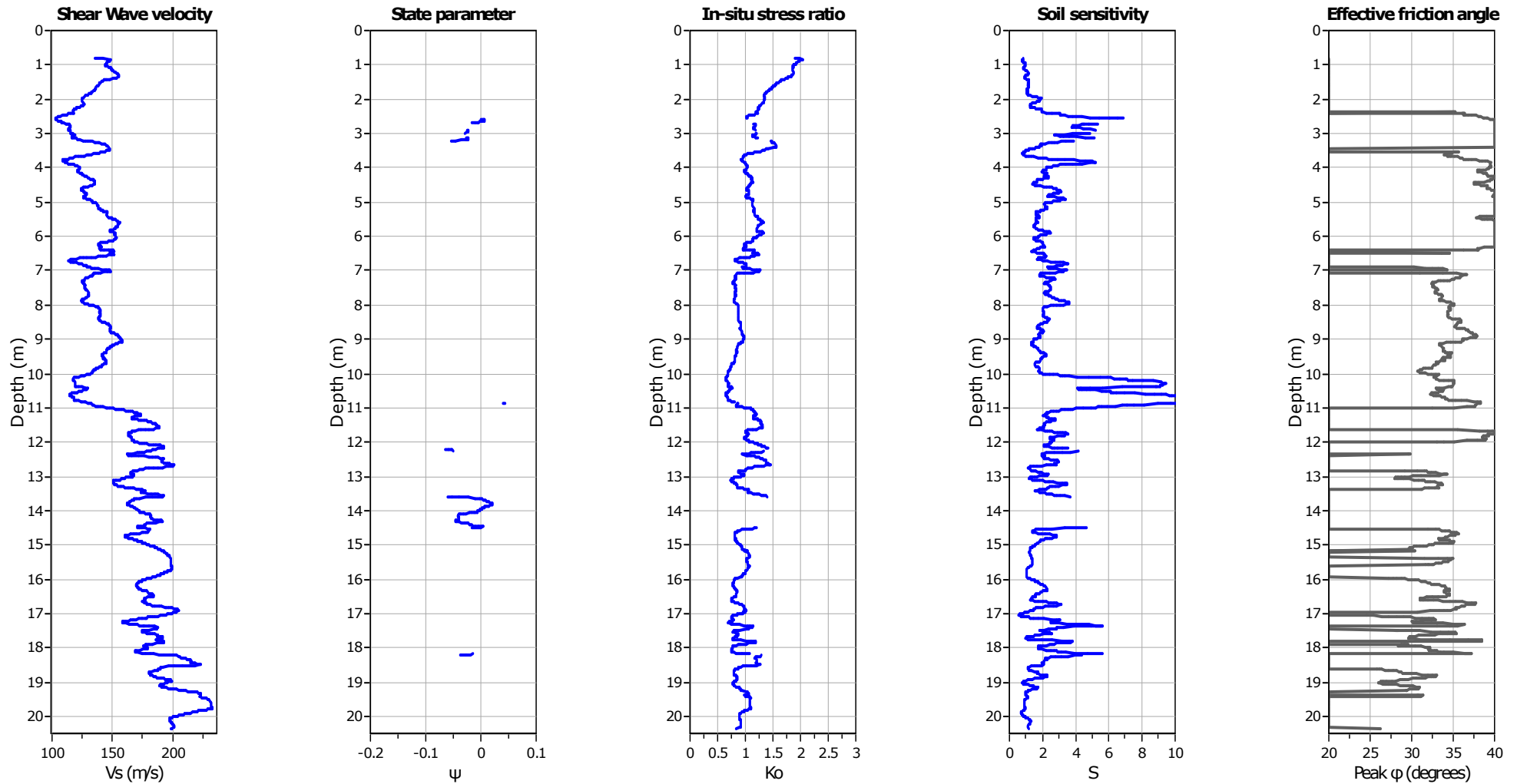
Go: Based on variable *alpha* using  $I_c$  (Robertson, 2009)

Undrained shear strength cone factor for clays,  $N_{kt}$ : 14

OCR factor for clays,  $N_{kt}$ : 0.33

● User defined estimation data

● Flat Dilatometer Test data



**Calculation parameters**

Soil Sensitivity factor,  $N_s$ : 7.00

—●— User defined estimation data

# ALLEGATO 2

## INDAGINI SISMICHE

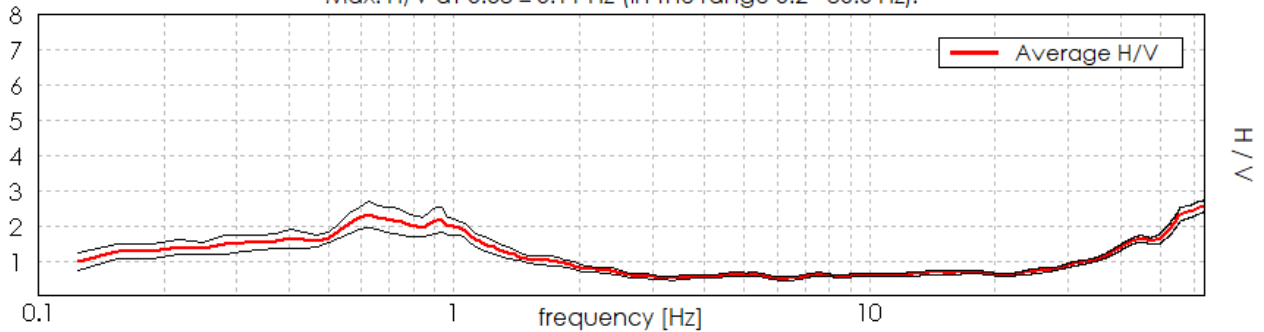
# HVSR

## SOLIERA, VIA LOSCHI

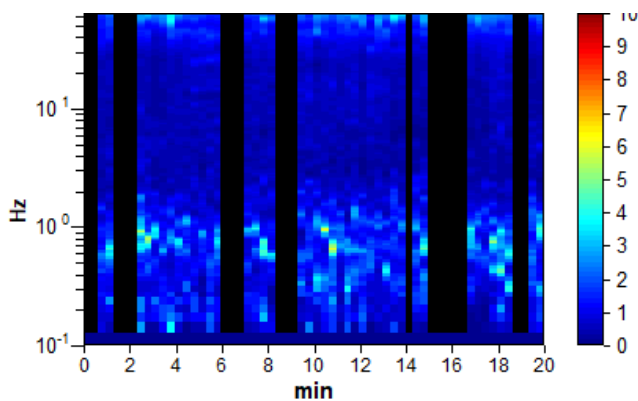
Instrument: TE3-0303/01-17  
 Data format: 32 bit  
 Full scale [mV]: 51  
 Start recording: 19/05/2021 06:55:10 End recording: 19/05/2021 07:15:10  
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 68% trace (manual window selection)  
 Sampling rate: 128 Hz  
 Window size: 20 s  
 Smoothing type: Triangular window  
 Smoothing: 10%

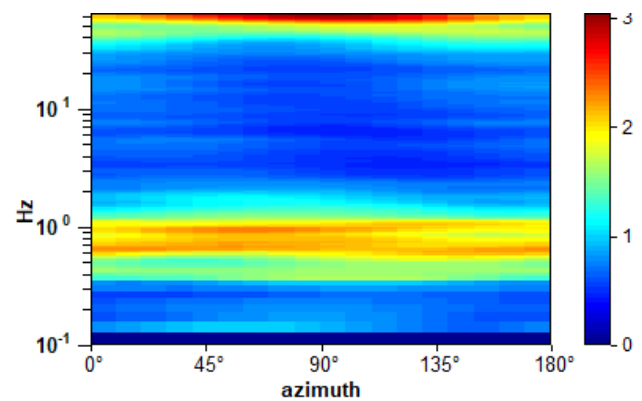
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO  
 Max. H/V at  $0.63 \pm 0.11$  Hz (in the range 0.2 - 30.0 Hz).



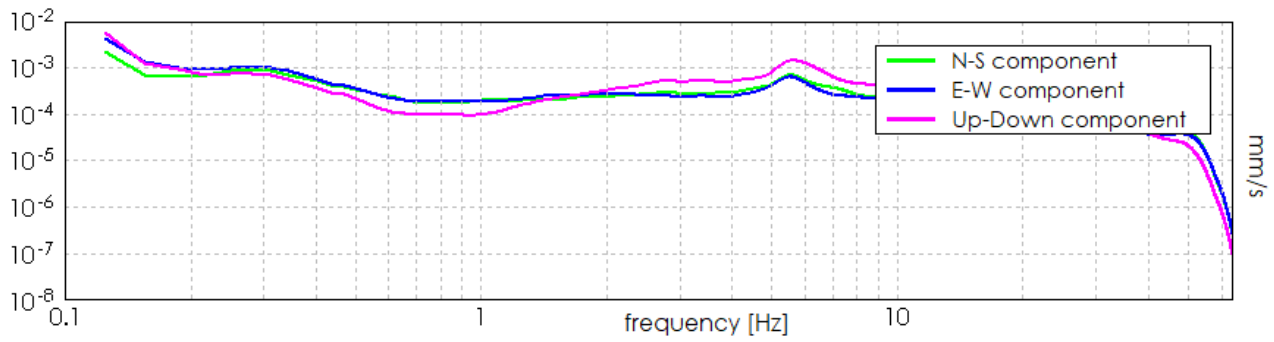
H/V TIME HISTORY



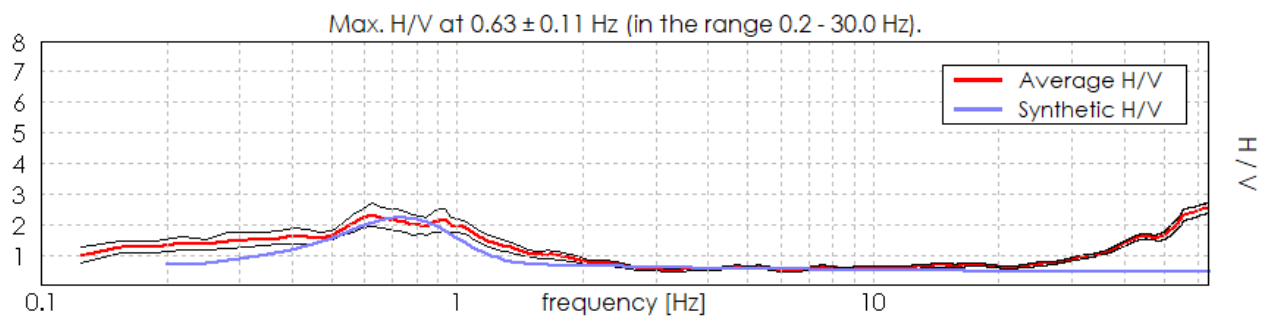
DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA



### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.00	3.00	170	0.46
9.00	6.00	190	0.45
19.00	10.00	210	0.45
39.00	20.00	250	0.44
74.00	35.00	300	0.43
134.00	60.00	400	0.42
inf.	inf.	500	0.42

**Vs\_eq (0.0-30.0) = 213 m/s**

[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at  $0.63 \pm 0.11$  Hz (in the range 0.2 - 30.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.63 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$512.5 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 31 times	<b>OK</b>	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

<b>Exists <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>			<b>NO</b>
<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	1.438 Hz	<b>OK</b>	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	$2.33 > 2$	<b>OK</b>	
<b><math>f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.18363  < 0.05$		<b>NO</b>
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	$0.11477 < 0.09375$		<b>NO</b>
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	$0.3765 < 2.0$	<b>OK</b>	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$**

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



## MASW

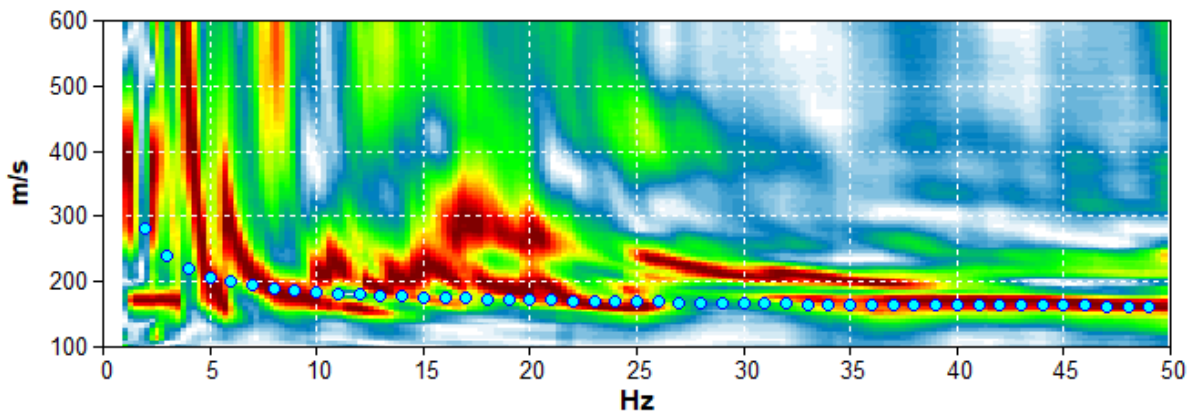
### SOLIERA, VIA LOSCHI

Start recording: 19/05/2021 06:55:10 End recording: 19/05/2021 07:15:10  
 Trace length: 0h20'00". Analyzed 68% trace (manual window selection)  
 Sampling rate: 128 Hz

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

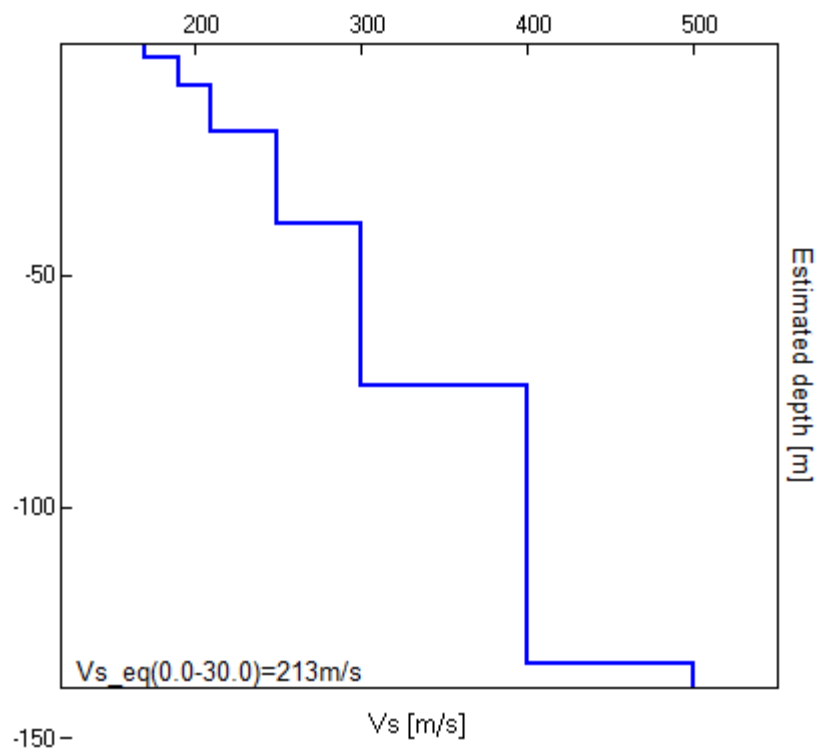
Array geometry (x): 0.0 2.0 4.0 6.0 8.0 10.0 12.0 14.0 16.0 18.0 20.0 22.0 24.0 26.0 28.0 30.0 32.0 34.0 36.0  
 38.0 40.0 42.0 44.0 46.0 m.

#### MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.00	3.00	170	0.46
9.00	6.00	190	0.45
19.00	10.00	210	0.45
39.00	20.00	250	0.44
74.00	35.00	300	0.43
134.00	60.00	400	0.42
inf.	inf.	500	0.42

**Vs\_eq (0.0-30.0) = 213 m/s**



# ALLEGATO 3

## VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

**LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT**

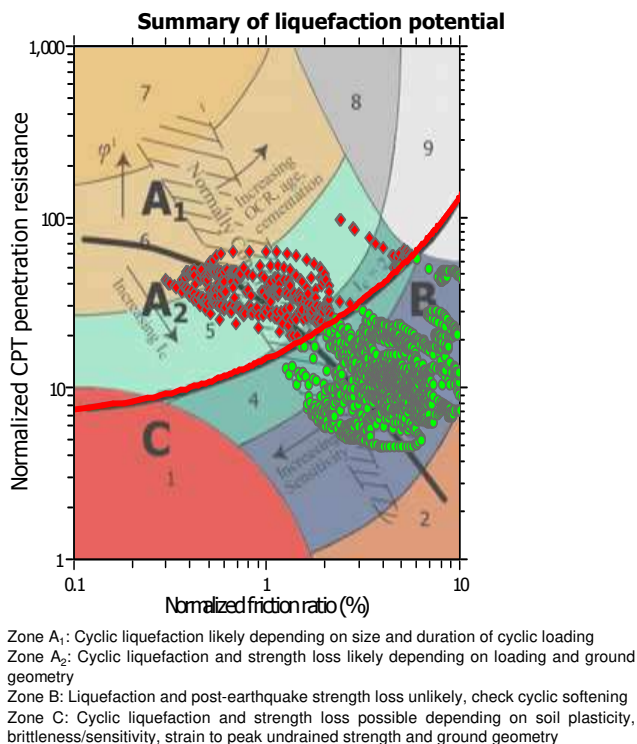
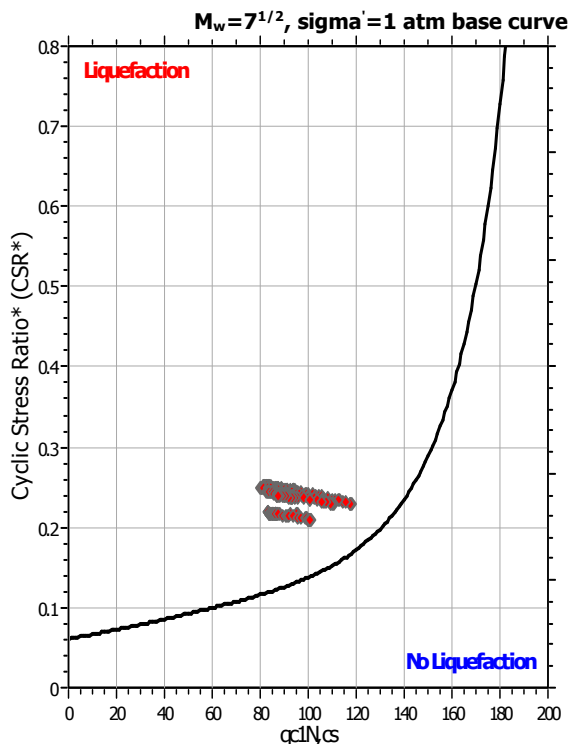
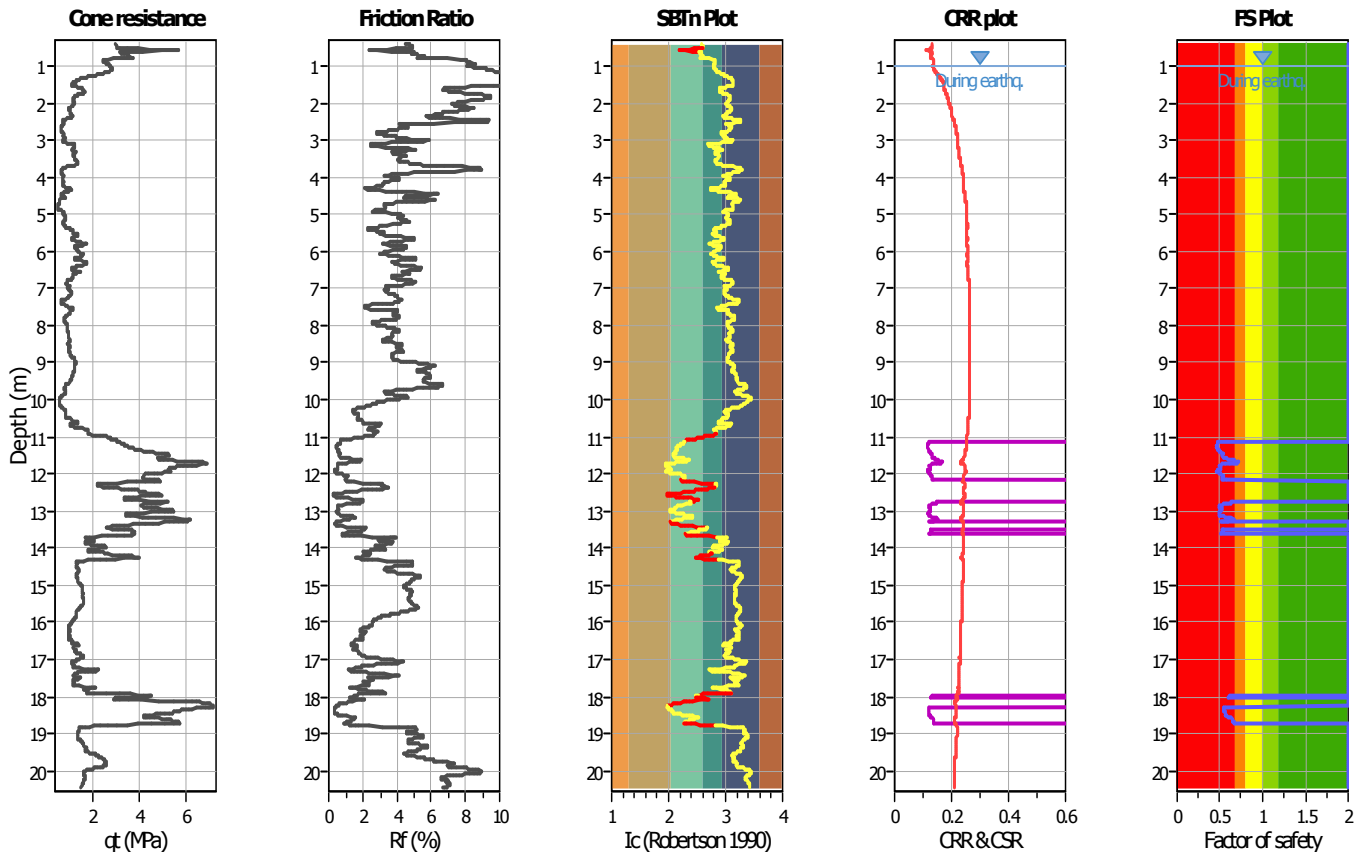
**Project title : CARATTERIZZAZIONE**

**Location : SOLIERA - VIA G. LOSCHI**

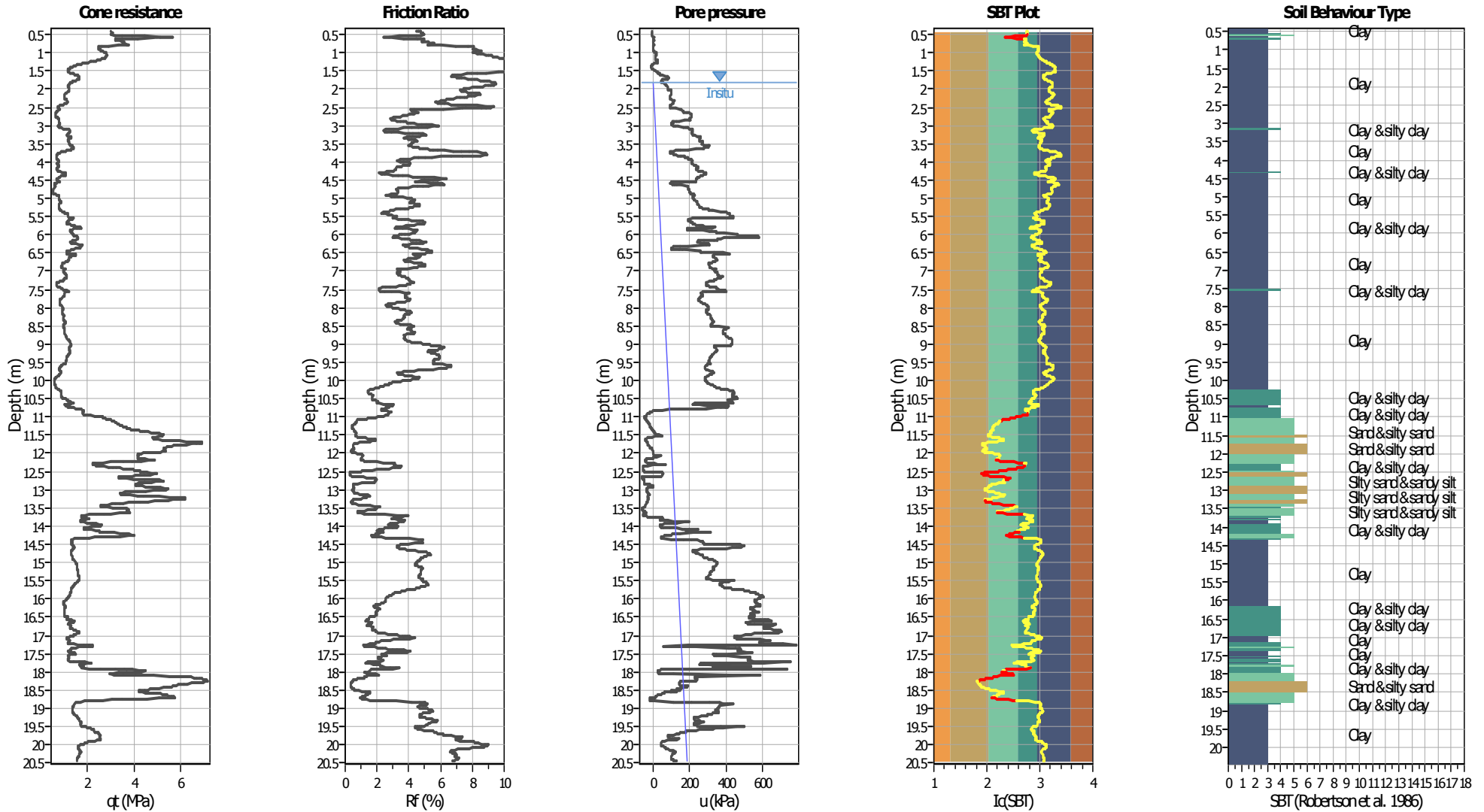
**CPT file : CPTU1**

**Input parameters and analysis data**

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	1.80 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	N/A
Peak ground acceleration:	0.27	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_\sigma$ applied:	Yes	Method:	



### CPT basic interpretation plots



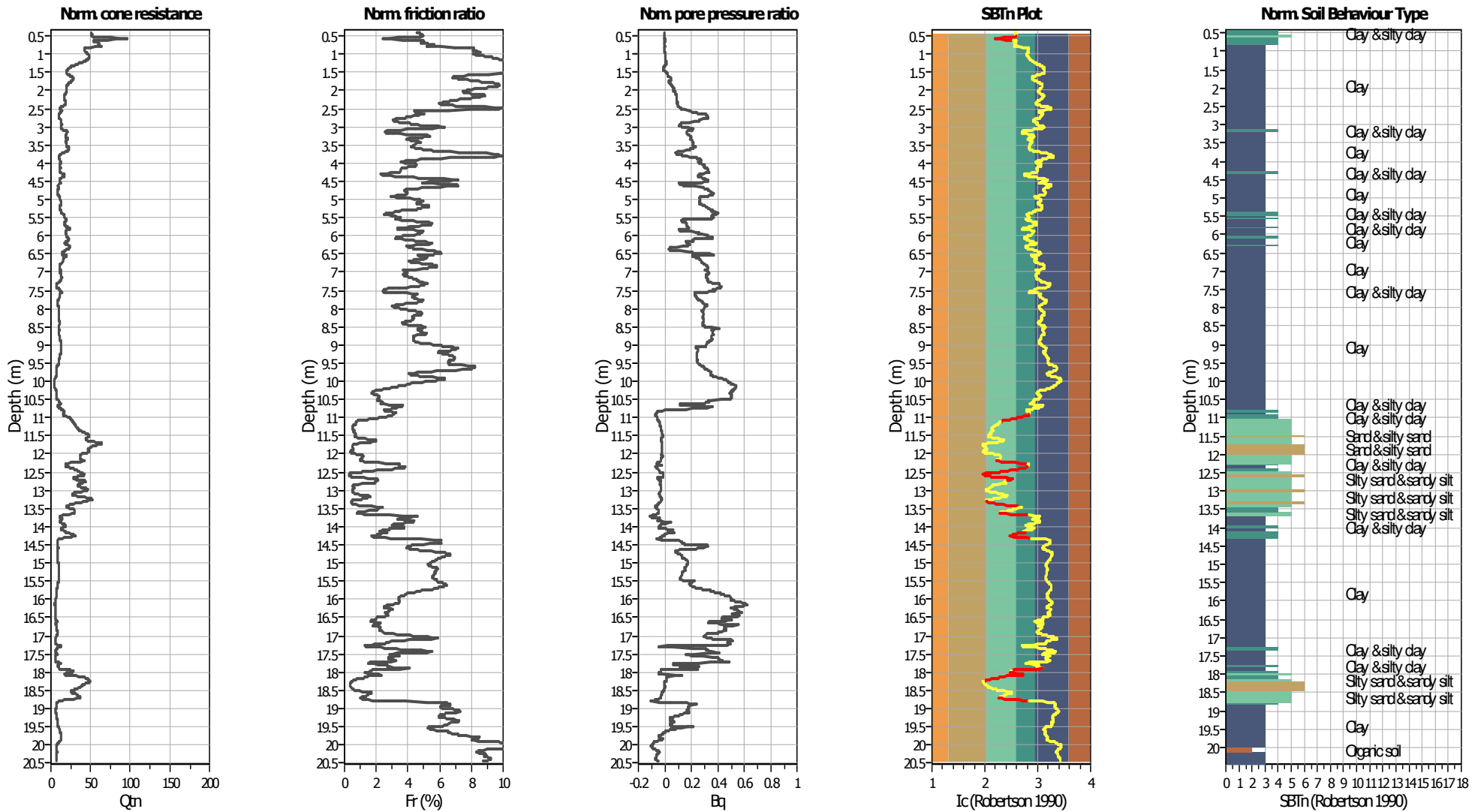
#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on $I_c$ value	$I_c$ cut-off value:	2.60	$K_{\sigma}$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

#### SBT legend

1. Sensitive fine grained	4. Clayey silt to silty	7. Gravely sand to sand
2. Organic material	5. Silty sand to sandy silt	8. Very stiff sand to
3. Clay to silty clay	6. Clean sand to silty sand	9. Very stiff fine grained

### CPT basic interpretation plots (normalized)



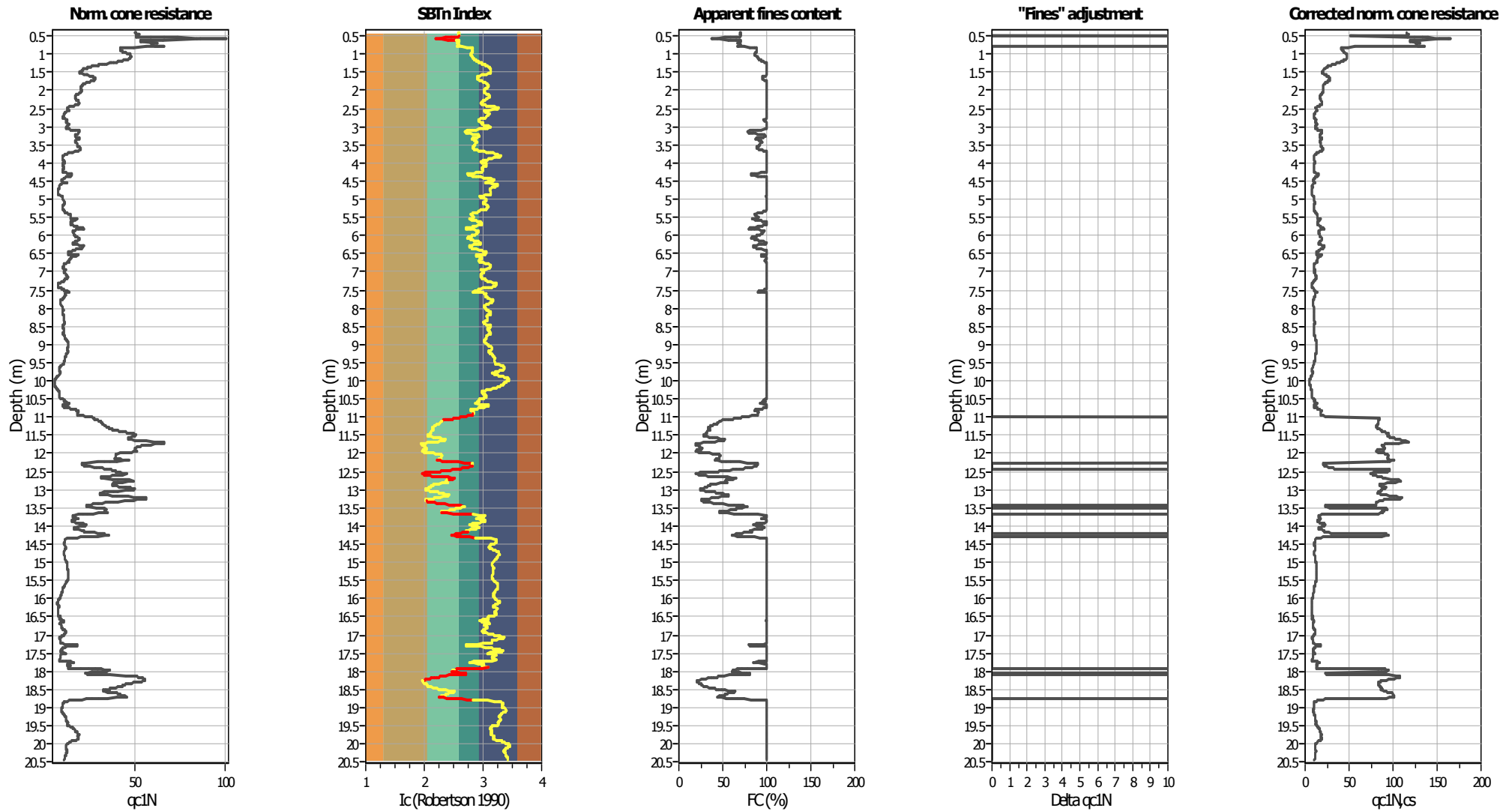
#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K <sub>q</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

#### SBTn legend

1. Sensitive fine grained	4. Clayey silt to silty	7. Gravely sand to sand
2. Organic material	5. Silty sand to sandy silt	8. Very stiff sand to
3. Clay to silty clay	6. Clean sand to silty sand	9. Very stiff fine grained

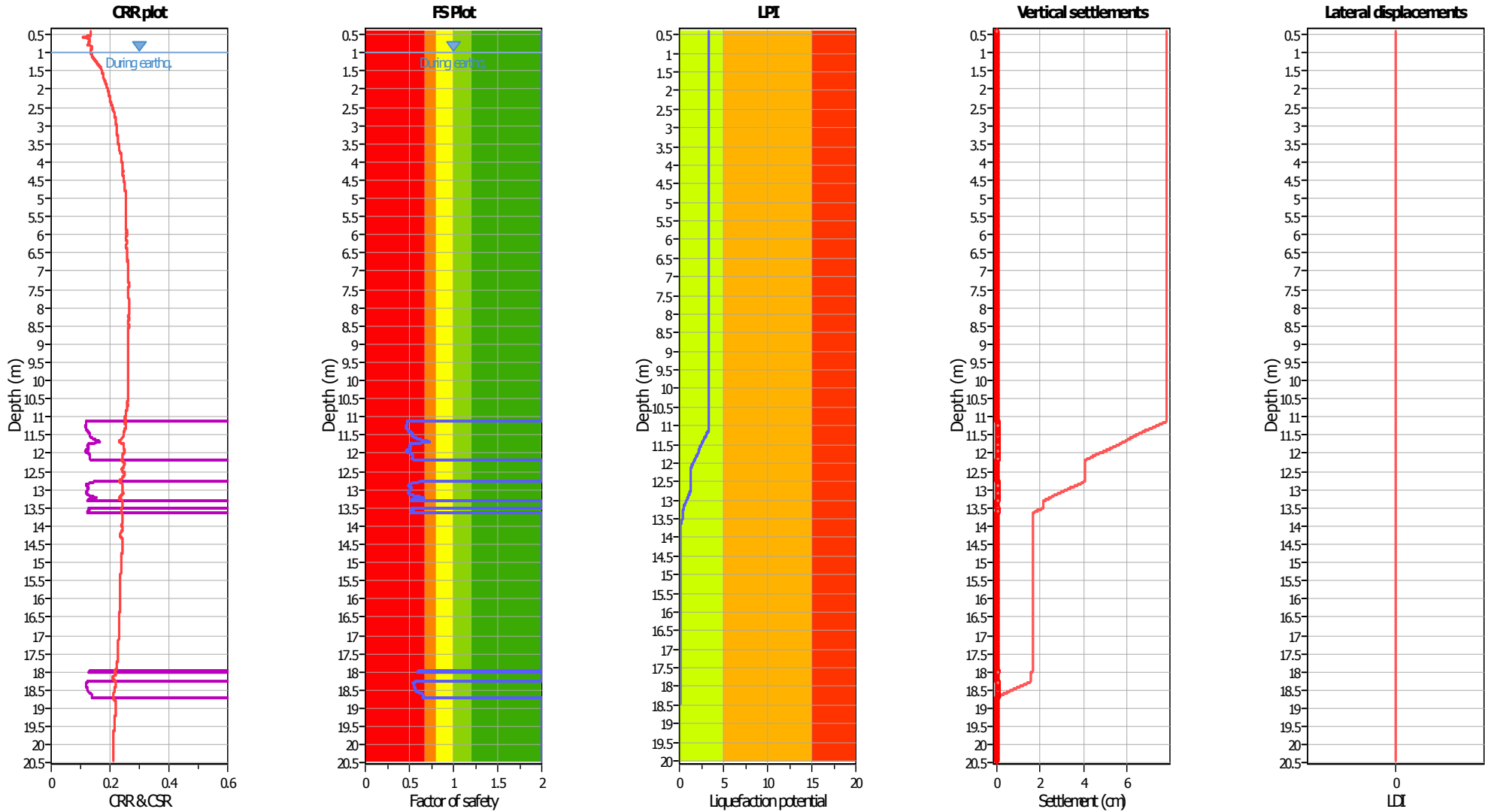
### Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K <sub>v</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

### Liquefaction analysis overall plots



**Input parameters and analysis data**

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	$K_f$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

**F.S. color scheme**

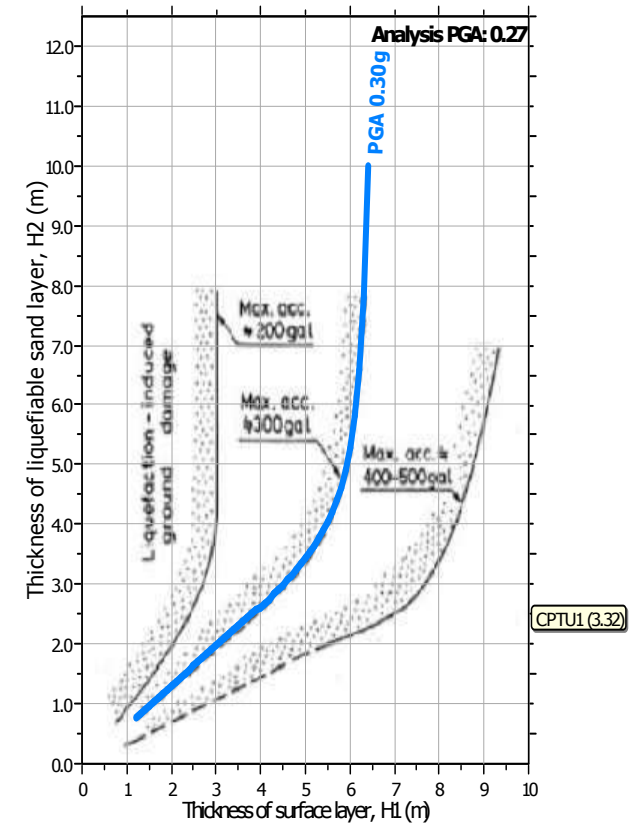
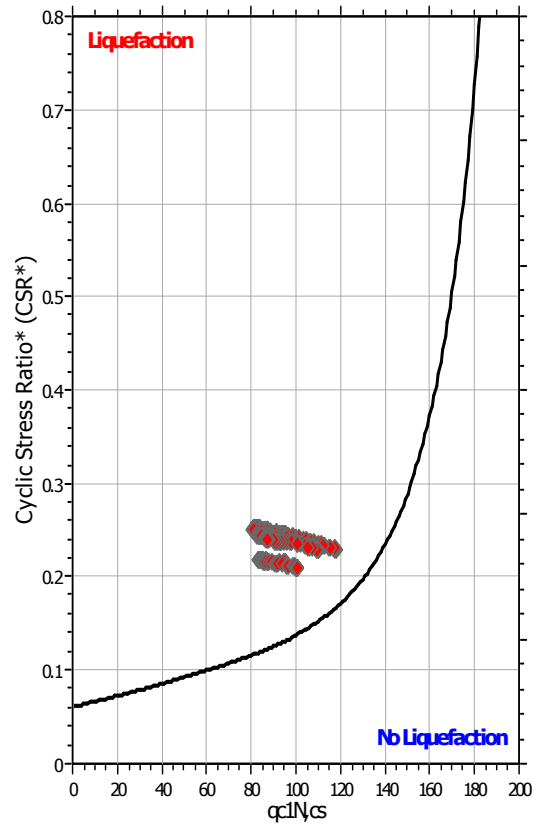
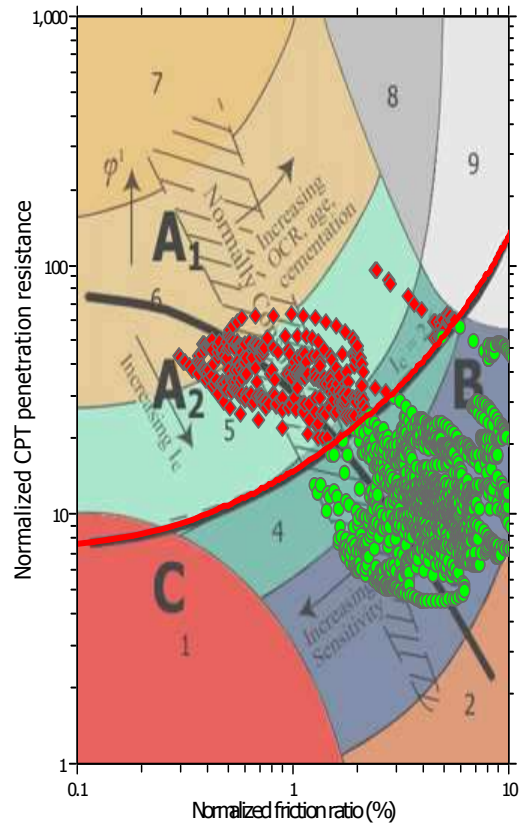
- Almost certain it will liquefy
- Very likely to liquefy
- Liquefaction and no liq. are equally likely
- Unlike to liquefy
- Almost certain it will not liquefy

**LPI color scheme**

- Very high risk
- High risk
- Low risk



### Liquefaction analysis summary plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	$K_{\phi}$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

**LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT**

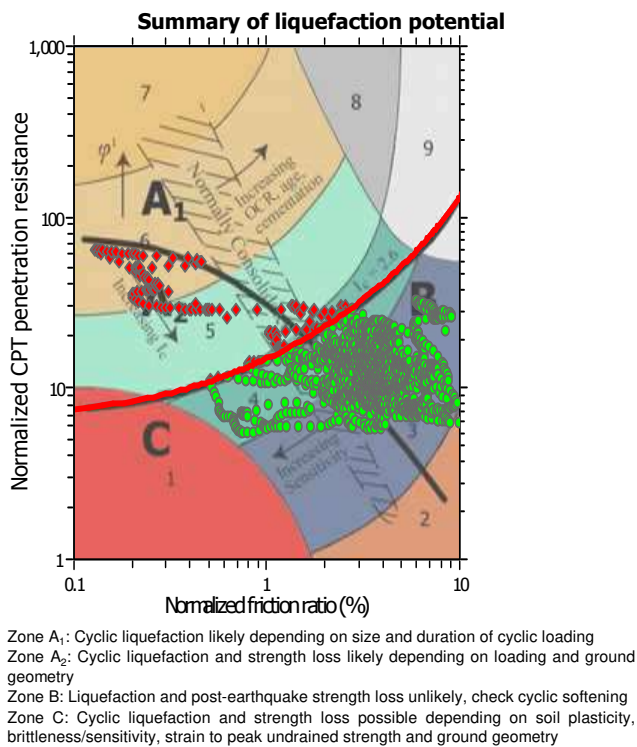
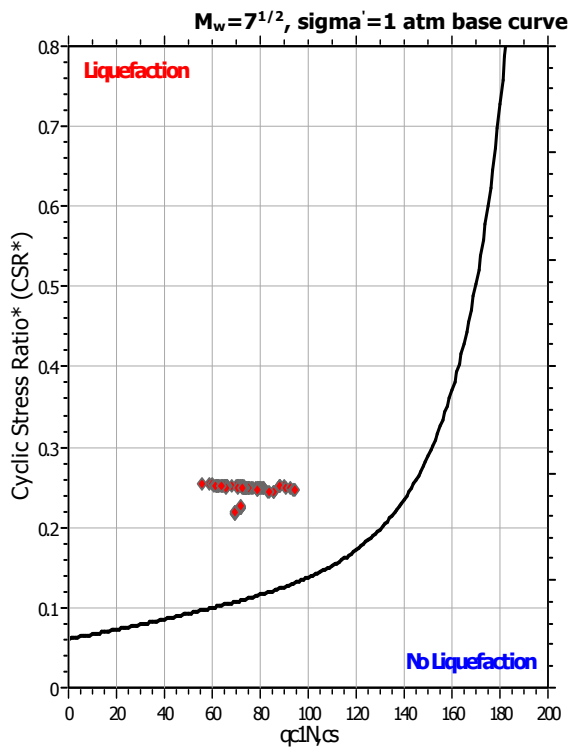
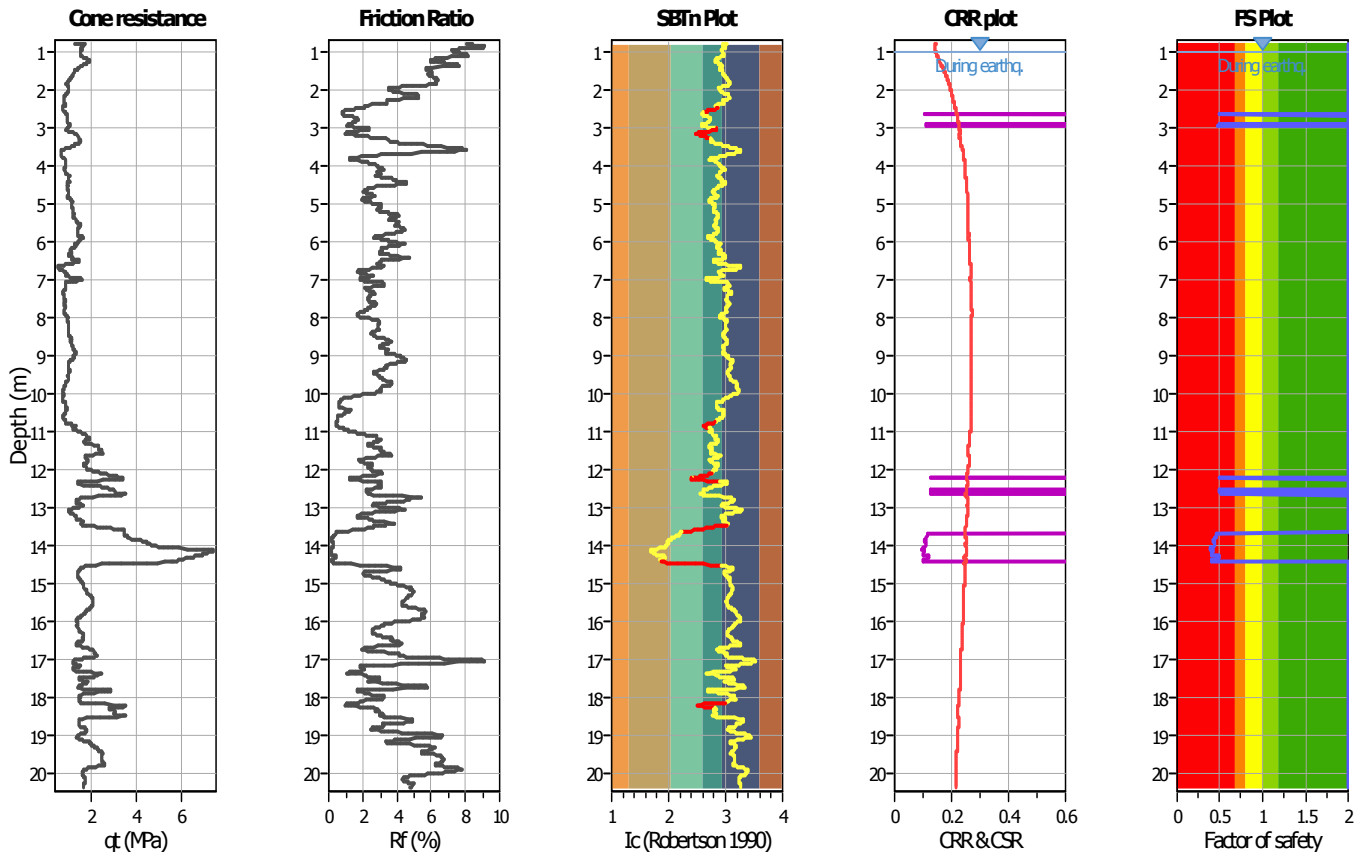
**Project title : CARATTERIZZAZIONE**

**Location : SOLIERA - VIA G. LOSCHI**

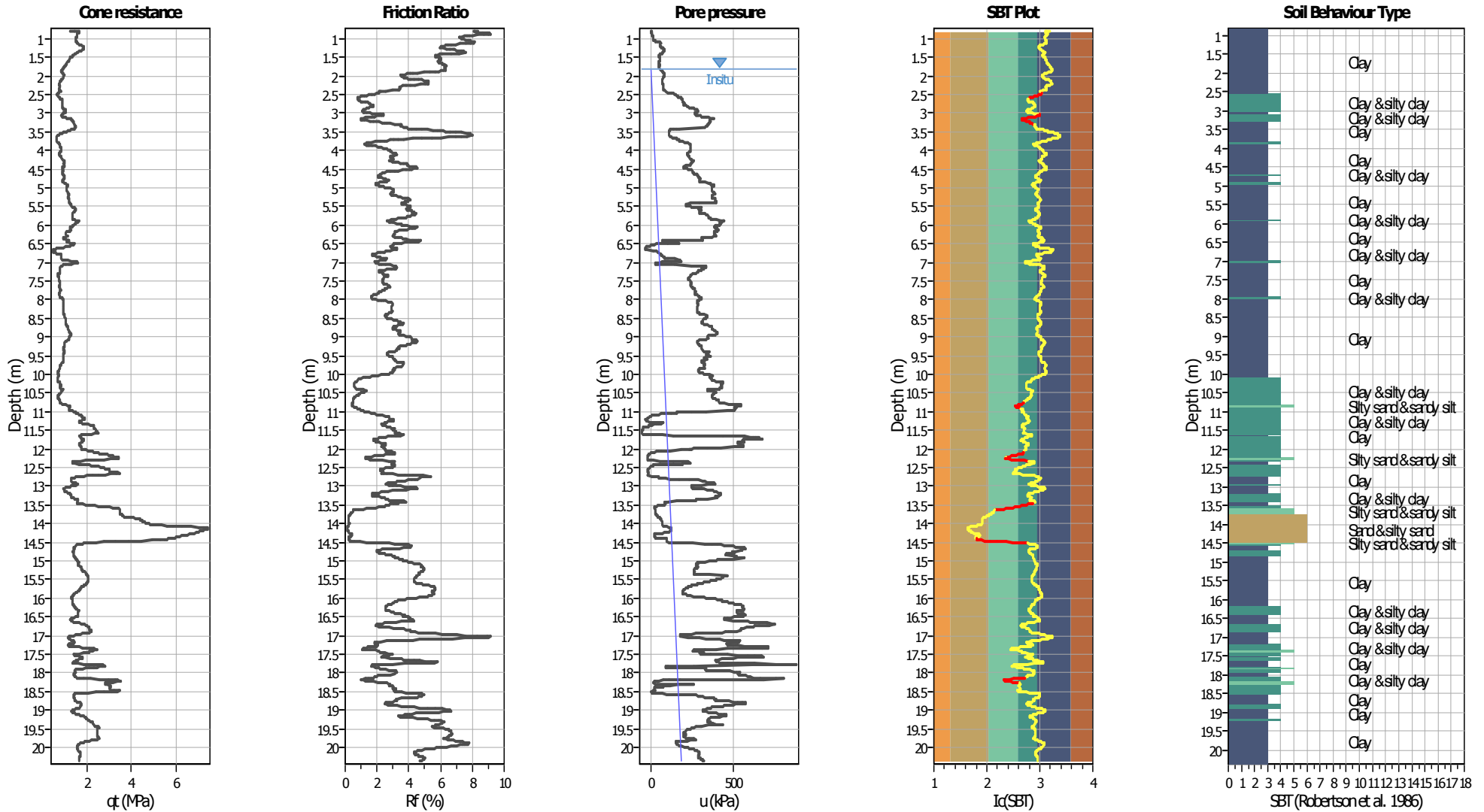
**CPT file : CPTU2**

**Input parameters and analysis data**

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	1.80 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method
Peak ground acceleration:	0.27	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_\sigma$ applied:	Yes		



### CPT basic interpretation plots



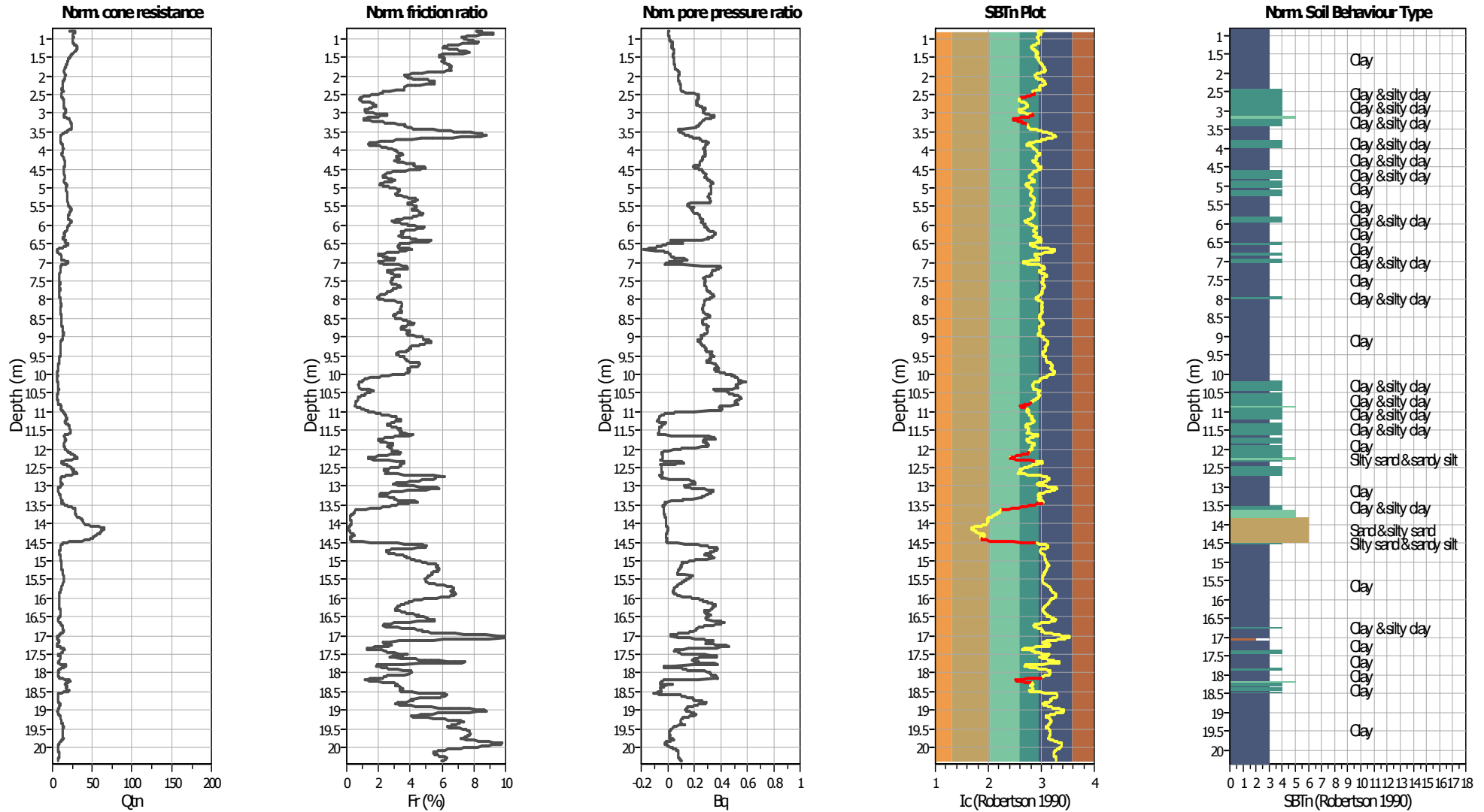
#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on $I_c$ value	$I_c$ cut-off value:	2.60	$K_{\sigma}$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

#### SBT legend

<span style="color: red;">■</span> 1. Sensitive fine grained	<span style="color: teal;">■</span> 4. Clayey silt to silty	<span style="color: orange;">■</span> 7. Gravely sand to sand
<span style="color: brown;">■</span> 2. Organic material	<span style="color: lightgreen;">■</span> 5. Silty sand to sandy silt	<span style="color: grey;">■</span> 8. Very stiff sand to
<span style="color: blue;">■</span> 3. Clay to silty clay	<span style="color: tan;">■</span> 6. Clean sand to silty sand	<span style="color: lightgrey;">■</span> 9. Very stiff fine grained

### CPT basic interpretation plots (normalized)



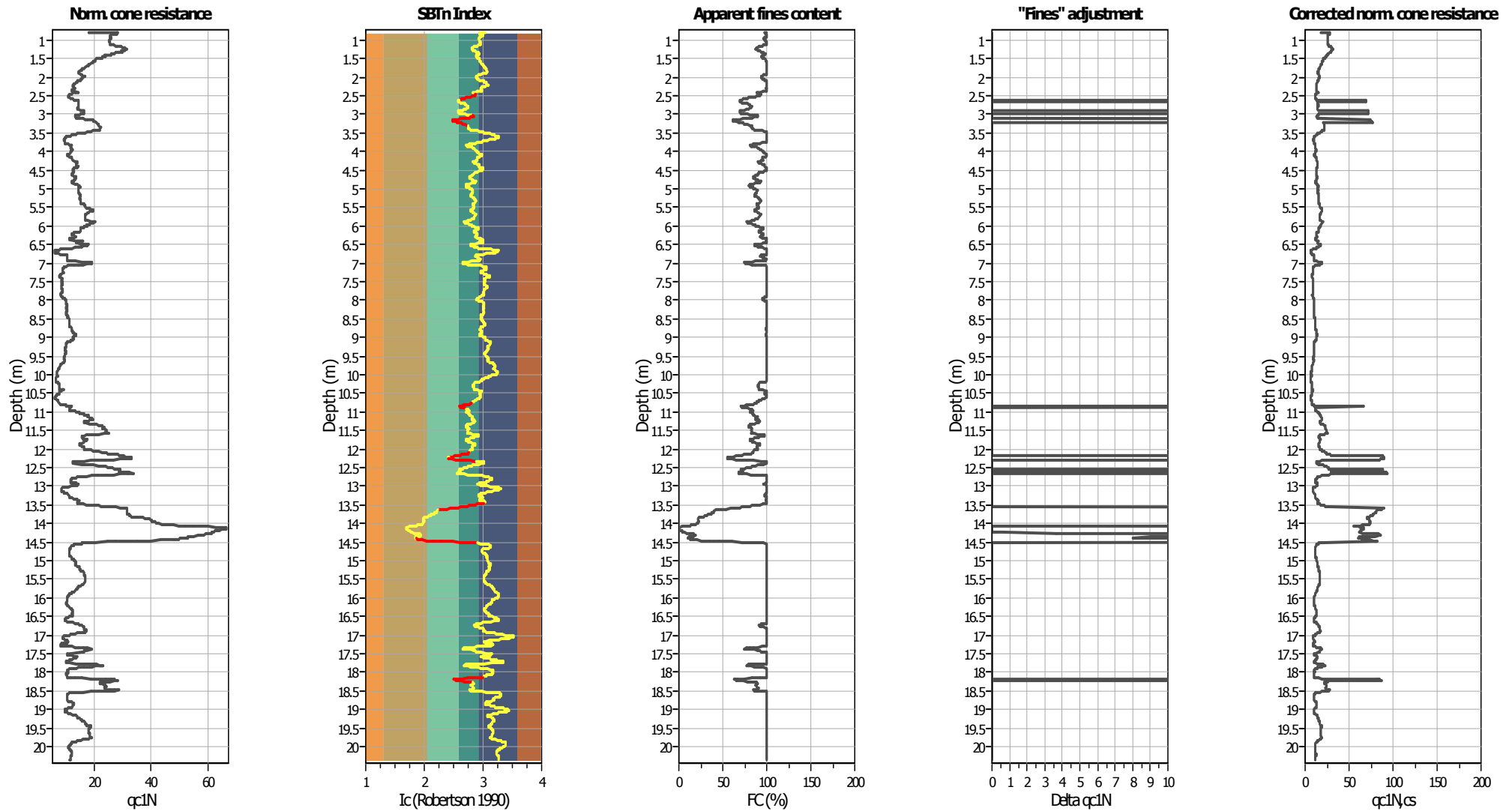
#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K <sub>q</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

#### SBTn legend

<span style="color:red">■</span> 1. Sensitive fine grained	<span style="color:green">■</span> 4. Clayey silt to silty	<span style="color:orange">■</span> 7. Gravely sand to sand
<span style="color:blue">■</span> 2. Organic material	<span style="color:lightgreen">■</span> 5. Silty sand to sandy silt	<span style="color:grey">■</span> 8. Very stiff sand to
<span style="color:darkblue">■</span> 3. Clay to silty clay	<span style="color:yellow">■</span> 6. Clean sand to silty sand	<span style="color:lightgrey">■</span> 9. Very stiff fine grained

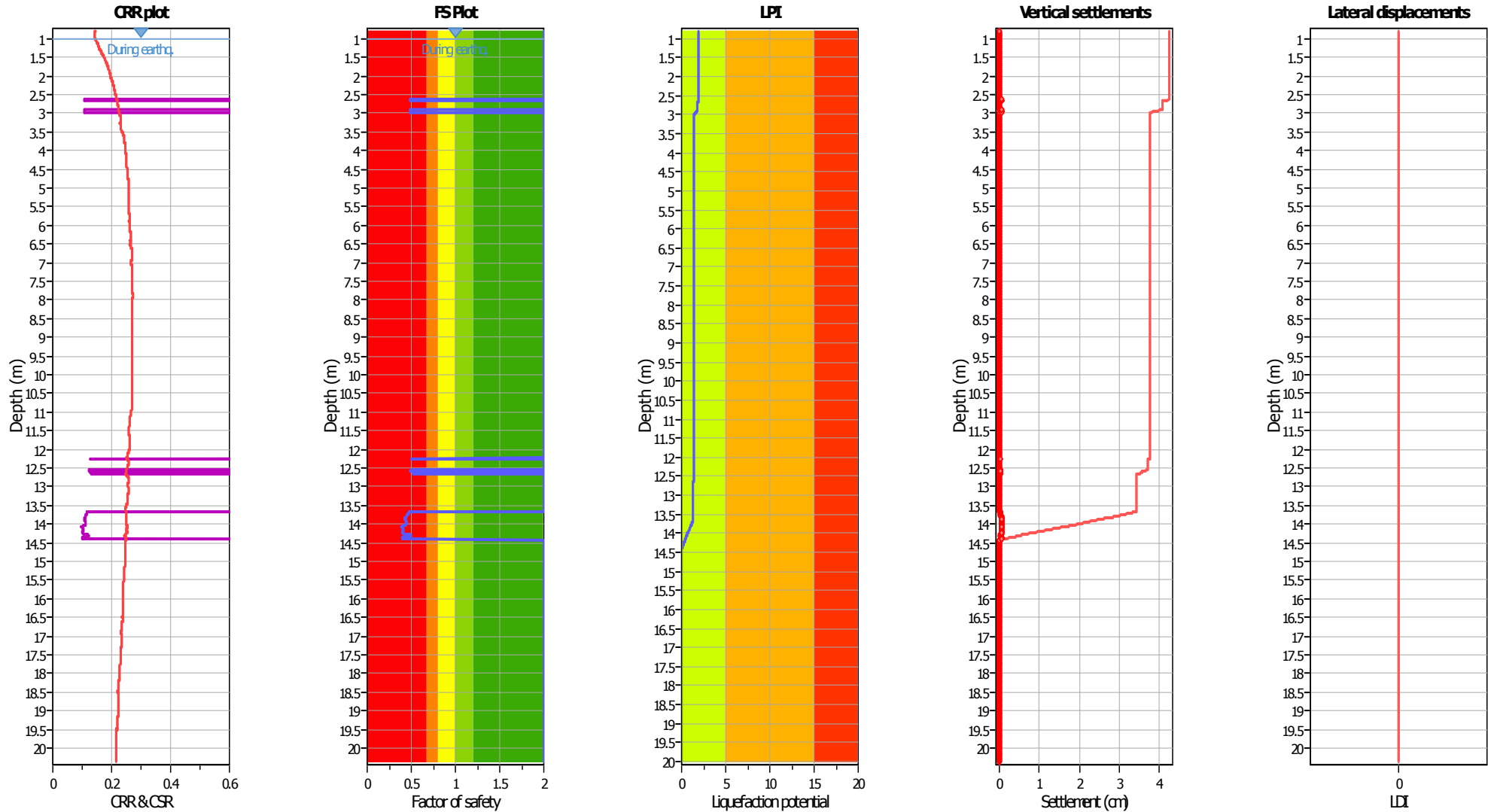
### Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K <sub>q</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

### Liquefaction analysis overall plots



**Input parameters and analysis data**

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	$K_f$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

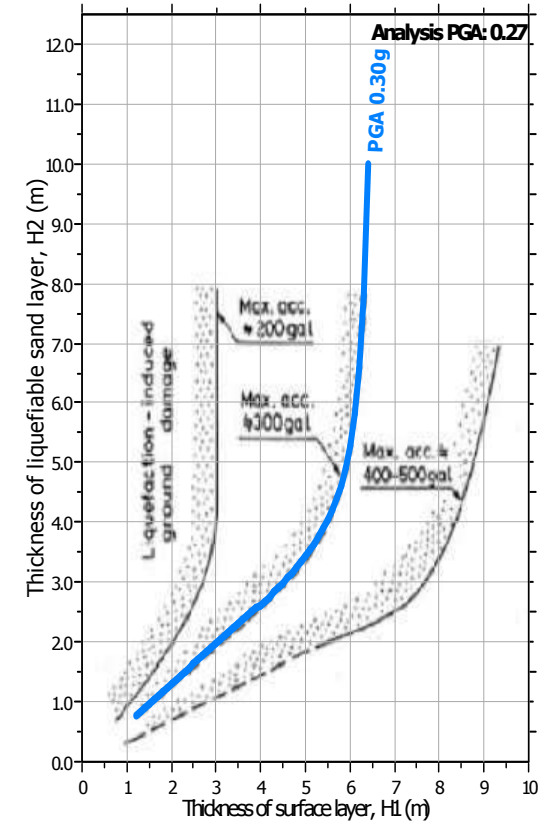
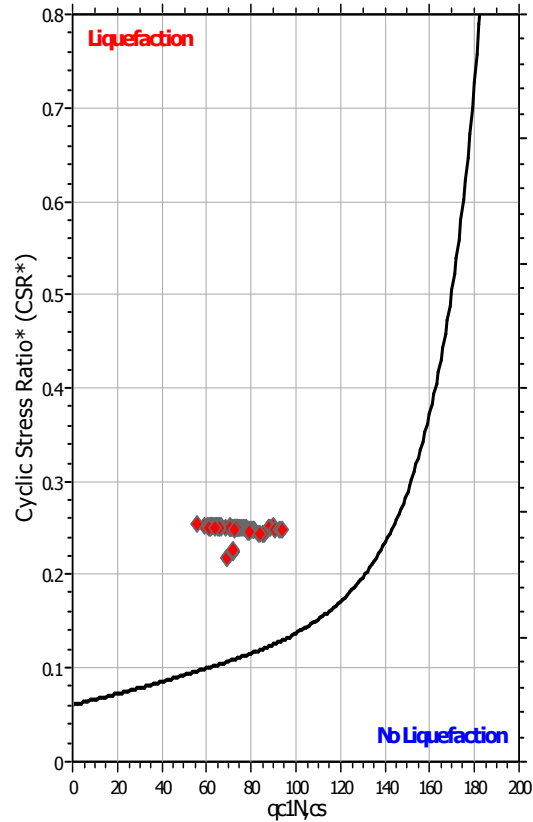
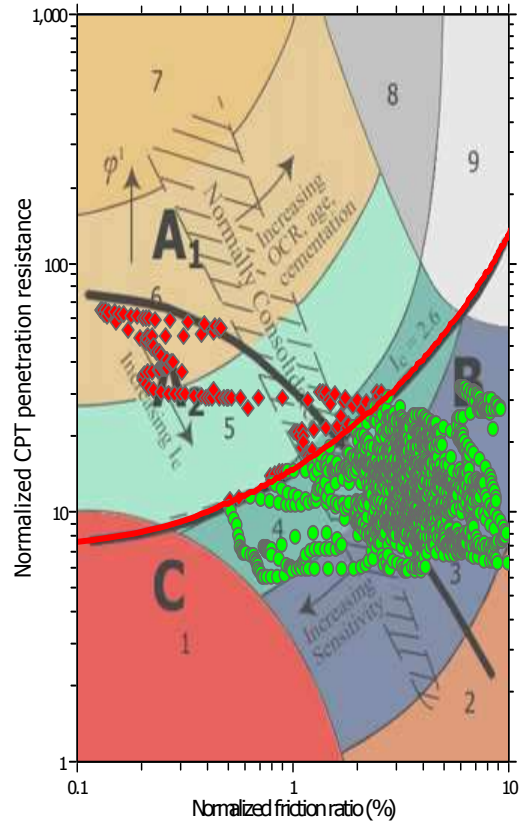
**F.S. color scheme**

- Almost certain it will liquefy
- Very likely to liquefy
- Liquefaction and no liq. are equally likely
- Unlike to liquefy
- Almost certain it will not liquefy

**LPI color scheme**

- Very high risk
- High risk
- Low risk

### Liquefaction analysis summary plots



CPTU2 (1.93)

#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	$K_{\phi}$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A